

ΜΕΛΑΝΕΣ ΟΠΕΣ

Ιωάννης Χρ. Αγαπάκης

13 Μαΐου 2019

Μελανές Οπές | Ιωάννης Χρ. Αγαπάκης

ISBN: 978-618-00-1241-5

Εκτύπωση



Κ. Ν. Επισκόπου 7
54635 Θεσσαλονίκη
Τ. 2310 203566
www.copycity.gr

© 2019 Ιωάννης Χρ. Αγαπάκης

Απαγορεύεται η αναδημοσίευση και γενικά η αναπαραγωγή εν όλω ή εν μέρει ή και περιληπτικά, κατά παράφραση ή διασκευή, του παρόντος βιβλίου με οποιοδήποτε μέσο, σύμφωνα με τους Ν. 2387/1920, 4301/1929, τα ΝΑ 3565/56, 4254/62, 4264/75, Ν. 100/75 και λοιπούς εν γένει κανόνες Διεθνούς Δικαίου, χωρίς προηγούμενη γραπτή άδεια του συγγραφέα.

Στον πατέρα μου

Ο χωροχρόνος είναι ένα σφιχτόπλεχτο ύφασμα, που ζαρώνει, υπό την παρουσία μάζας, με απόλυτα προβλέψιμο τρόπο.

Περιεχόμενα

Πρόλογος

Πρόλογος του συγγραφέα 1

Εισαγωγή 5

1 Οι Μελανές Οπές ως φυσικό αποτέλεσμα της βαρυτικής κατάρρευσης αστέρων 11

1.1 Η Μελανή Οπή ως μη σχετικιστική έννοια 11

1.2 Αρχές Αστρικής Εξέλιξης 14

2 Μετρικός Τανυστής του Schwarzschild 19

2.1 Γενικά 19

2.2 Καμπύλωση του χωροχρόνου 20

2.3 Όταν $r \rightarrow \infty$ ο μετρικός τανυστής Schwarzschild τείνει στον μετρικό τανυστή Minkowski της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας 24

2.4 Ακτίνα Καμπυλότητας Μελανής Οπής 25

2.5 Μετατόπιση μήκους κύματος των φωτονίων προς το ερυθρό 28

3 Ακτίνα Schwarzschild 31

3.1 Τετραδιάστατος χωροχρόνος 31

3.2	Ακτίνα Βαρύτητας και επιφάνεια Schwarzschild	34
3.3	Οι ιδιότητες της επιφάνειας Schwarzschild από τη μελέτη των μεταβολών του κώνου φωτός	37
4	Η «μεγίστη» γεωμετρία Schwarzschild	45
4.1	Ορισμοί	45
4.2	Ο μετασχηματισμός Kruskal - Szekeres	46
4.3	Κοσμικές σήραγγες (γέφυρα Einstein - Rossen)	50
5	Ειδικά Θεωρήματα, Ορισμοί και είδη Μελανών Οπών	55
6	Ο χωροχρόνος Kerr-Newman	67
6.1	Περιγραφή του χωροχρόνου και της μελανής οπής Kerr-Newman	67
6.2	Αφαίρεση έργου από την Εργοπεριοχή	73
7	Κβαντομηχανική, θερμοδυναμική και Μελανές Οπές	77
7.1	Οι Μελανές Οπές στο πεδίο της κβαντομηχανικής	78
7.2	Εξαέρωση Μελανών Οπών	83
7.3	Κβαντική θερμική ακτινοβολία μελανών οπών και Κοσμολογία	86
7.4	Η θερμοδυναμική των Μελανών Οπών	88
8	Οι Μελανές Οπές ως υπαρκτά αντικείμενα στο Σύμπαν	95
8.1	Παρατηρήσεις Μελανών Οπών	95
8.2	Πέφτοντας σε μια Μελανή Οπή	101
8.3	Ταξίδια στο χρόνο	104
8.4	Ημιστέρες - Κβάζαρς (Quasars)	107

Επίλογος	113
Παραρτήματα	115
Παράρτημα Α	117
Παράρτημα Β	123
Παράρτημα Γ	125
Παράρτημα Δ	131
Παράρτημα Ε	135
Παράρτημα ΣΤ	137
Παράρτημα Ζ	143
Παράρτημα Η	147
Παράρτημα Θ	153
Παράρτημα Ι	157
Βιβλιογραφία	159
Γλωσσάριο	165
Ευρετήριο	181

Κατάλογος Σχημάτων

- 2.1 Οι κυκλικές τροχιές (α) σε επίπεδο και (β) σε καμπύλο χωροχρόνο. Η ύπαρξη μάζας καμπυλώνει τον χωροχρόνο, με αποτέλεσμα κυκλικές τροχιές της ίδιας διαμέτρου να μην αντιστοιχούν στην ίδια ακτινική απόσταση. 22
- 2.2 Αριστερά: Συγκριτικά η καμπύλωση του χώρου (που εδώ παρίστανται διδιάστατος) που επιφέρουν η Γη , ο Ήλιος και ένας Αστέρων Νετρονίων. Δεξιά: Μια καλλιτεχνική αναπαράσταση της στρέβλωσης του χώρου που επιφέρει η Γη. 27
- 3.1 Αριστερά: Κώνος φωτός, μελλοντικός (πάνω) και παρελθοντικός (κάτω). Δεξιά: Ο κώνος φωτός στο γεγονός Σ. Μόνο δύο χωρικές συντεταγμένες χρησιμοποιούνται οι $x^1 = x$ και $x^2 = y$. Το άνοιγμα του κώνου είναι $tg\delta = dx/cdt$ 33
- 3.2 Αριστερά: : Ο προσανατολισμός του κώνου φωτός αλλάζει κατεύθυνση κατά 90° , όταν η φωτεινή ακτίνα διέρχεται το όριο $r = R_s$. Δεξιά: Οι κώνοι φωτός στη γειτονιά μιας Μελανής Οπής. 36

- 3.3 Η μεταβολή του κώνου φωτός σε πεδίο *Schwarzschild*. Έξω από τον ορίζοντα $r = R_s$ ο κώνος φωτός περιλαμβάνει στο εσωτερικό του τη χρονοειδή συντεταγμένη $x^0 = ct$ και το άνοιγμά του ολοένα και μικραίνει, όσο πλησιάζει προς τον ορίζοντα. Μέσα στον ορίζοντα, δηλαδή στην περιοχή $r < R_s$, οι συντεταγμένες x^0 και r εναλλάσσουν τους ρόλους τους, με αποτέλεσμα ο κώνος φωτός να αλλάζει προσανατολισμό κατά 90° , ώστε να περιλαμβάνει πάλι τη χρονοειδή συντεταγμένη, η οποία όμως τώρα έχει αλλάξει και είναι η r . Ο κώνος, όσο πλησιάζει προς την ανωμαλία ($r = 0$) συνεχώς κλείνει. Εκφυλίζεται δε σε μία ευθεία (την γενέτειρα του), όταν φθάσει στην ανωμαλία $r = 0$ 40
- 4.1 Το χωροχρονικό διάγραμμα των συντεταγμένων *Kruskal - Szekeres* στο οποίο φαίνονται μόνο οι συντεταγμένες u, v 48
- 4.2 Ο μέγιστος χωροχρόνος *Schwarzschild* σε συντεταγμένες *Kruskal - Szekeres*. 51
- 4.3 Σχηματική απεικόνιση της γέφυρας *Einstein - Rosen* που ενώνει (α) δύο διαφορετικά παράλληλα σύμπαντα (β) δύο απομακρυσμένα σημεία του ίδιου σύμπαντος της μεγίστης επεκτάσεως της γεωμετρίας *Schwarzschild*. 53
- 5.1 (α) Η περιστρεφόμενη Μελανή Οπή έχει σχηματίσει δύο οριζόντες γεγονότων εσωτερικό και εξωτερικό. (β) Η ταχύτητα περιστροφής αυξάνεται και ο εσωτερικός ορίζοντας τείνει προς τον εξωτερικό. (γ) Η ταχύτητα περιστροφής γίνεται πολύ μεγάλη με αποτέλεσμα οι δύο οριζόντες να συγχωνευτούν, η ανωμαλία γίνεται γυμνή. 62
- 6.1 Ο ορίζοντας γεγονότων και το στατικό όριο μιας περιστρεφόμενης μελανής οπής. Οι οριζόντες είναι σφαίρες με κέντρο το σημείο $(0,0,0)$, ενώ τα στατικά όρια είναι ελλειψοειδή εκ περιστροφής περι του άξονα z . Στο σχήμα δεξιά οι άξονες είναι βαθμονομημένοι σε συντεταγμένες *Kerr* x, y, z . Επίσης εδώ διακρίνεται η γραμμοσκιασμένη δακτυλοειδής ανωμαλία του χωροχρόνου *Kerr*. 72

6.2	Αφαίρεση ενέργειας από την εργοπεριοχή (εργόσφαιρα) μιας περιστρεφόμενης μελανής οπής Kerr – Newman με τη μέθοδο Penrose	75
7.1	Οι διακυμάνσεις κενού της κβαντικής θεωρίας.	79
7.2	Στην περίπτωση I, στο ζεύγος των δυνάμει φωτονίων δεν επαρκεί ο χρόνος $h/(\Delta E)_{min}$, για να διέλθει τον ορίζοντα και τα φωτόνια επανασυνδέονται. Αντίθετα στην περίπτωση II, το αρνητικής ενέργειας (-E) φωτόνιο πέφτει στη μελανή οπή, πριν παρέλθει ο χρόνος $h/(\Delta E)_{min}$ από την έναρξη της διακύμανσης, ενώ το συζυγές του (+E) εκπέμπεται στο περιβάλλον.	80
8.1	Αριστερά η περιοχή του αστερισμού του Κύκνου, σε σχηματική αναπαράσταση και σε ουρανογραφικό χάρτη, στην οποία βρέθηκε το αντικείμενο X-1, που εκπέμπει έντονη ακτινοβολία X. Δεξιά καλλιτεχνική αναπαράσταση της Μελανής Οπής X-1 του αστερισμού του Κύκνου, στην οποία εικονίζεται η μεταφορά ύλης από τον γαλάζιο γίγαντα συνοδό προς την X-1, καθώς και ο δίσκος προσαύξησης.	96
8.2	Αριστερά η περιοχή του κέντρου του γαλαξία M87 από την οποία το τηλεσκόπιο EHT πήρε την πρώτη φωτογραφία μελανής οπής. Δεξιά η πρώτη φωτογραφία! Το περίγραμμα της M.O γίνεται ορατό λόγω της δέσμης φωτός που συγκεντρώνεται στο στόμιό της. (Πηγή: Event Horizon Telescope)	98
8.3	Στην εικόνα του σχήματος φαίνεται ο χώρος με το τετραγωνισμένο σύστημα, ο χρόνος με τα ρολόγια, του αστροναύτη και του σκάφους, και τέλος το μήκος κύματος των φωτεινών ακτίνων.	101
8.4	Ο χώρος στρεβλώνεται (καμπυλώνεται) κοντά στον ορίζοντα, ο χρόνος τρέχει πιο αργά και το μήκος κύματος των φωτονίων γίνεται μεγαλύτερο (μετατόπιση προς το ερυθρό).	102
8.5	Πάνω στον ορίζοντα το ρολόι του αστροναύτη έχει σταματήσει, ο χώρος έχει υποστεί μεγάλη παραμόρφωση και το μήκος κύματος έχει αυξηθεί κι άλλο μετατοπίζοντας το φάσμα ακόμη περισσότερο στο ερυθρό.	103

- 8.6 *Μια καλλιτεχνική απεικόνιση του ULAS J1120+0641. Πρόκειται για το πιο μακρινό, μάζας $2.000.000.000M_{\odot}$, κβάζαρ που έχει παρατηρηθεί σε απόσταση 28,85 δισεκατομμυρίων ετών φωτός (Comoving distance, δηλαδή απόσταση που δεν λαμβάνει υπόψη τη διαστολή του Σύμπαντος) από τη Γη. (Πηγή: ESO/M.Kornmesser) 108*