

Εισαγωγή

Στα 1915 ο Albert Einstein παρουσίασε μία επαναστατική ιδέα για την βαρύτητα και την φύση του χώρου και του χρόνου, μια ιδέα που θα άλλαζε για πάντα την ιστορία της φυσικής και τον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε το Σύμπαν.

Σύμφωνα με τη θεωρία της Σχετικότητας, οι τρεις διαστάσεις του χώρου και εκείνη του χρόνου αποτελούν μία ενιαία οντότητα που ονομάζεται **χωροχρόνος**

Μπορούμε να φανταστούμε τον χωροχρόνο σαν ένα ενιαίο ύφασμα, το οποίο καμπυλώνεται στα σημεία όπου υπάρχουν μάζες. Όσο πιο μεγάλη είναι η μάζα σε κάποιο σημείο του χωροχρόνου τόσο πιο μεγάλη είναι η καμπύλωση (τόσο περισσότερο καμπυλώνεται το ύφασμα) στην περιοχή αυτή.

Αυτό το μοντέλο του κόσμου αλλάζει κατά πολύ κάποια πράγματα.

Το πρώτο είναι ότι δίνει μία τελείως διαφορετική ερμηνεία στην έννοια της βαρύτητας από εκείνη που έδινε ο Νεύτωνας. Στη Νευτώνεια φυσική, η βαρύτητα είναι μία ελκτική δύναμη που ασκείται ακαριαία μεταξύ των μαζών. Σύμφωνα με τη νέα θεωρία, η βαρυτική δύναμη την οποία βιώνουμε στην καθημερινότητά μας είναι το αποτέλεσμα μιας καμπύλωσης του χωροχρόνου, η οποία προκαλείται από την ύπαρξη μάζας. Άρα τα σώματα δεν έλκονται μεταξύ τους, λόγω κάποιας βαρυτικής δύναμης, αλλά αναγκάζονται να ακολουθήσουν την καμπύλωση του χωροχρόνου, κινούμενα στις συντομότερες δυνατές τροχιές. Αυτό εμείς το αντιλαμβανόμαστε ως επιτάχυνση. (ο Νεύτωνας είχε συνδέσει την επιτάχυνση με την βαρυτική δύναμη στον δεύτερό του νόμο με τη σχέση: $\Sigma F = m\gamma$).

Το δεύτερο πράγμα που αλλάζει είναι η έννοια του χρόνου. Στη νευτώνεια φυσική ο χρόνος ήταν μία απόλυτη έννοια. Αν όλοι οι παρατηρητές συγχρόνιζαν τα ρολόγια τους θα μετρούσαν ακριβώς τα ίδια χρονικά διαστήματα ανάμεσα σε δύο γεγονότα. Αν όμως ο χωροχρόνος είναι ενιαία οντότητα, τότε η καμπύλωσή του θα πρέπει να αλλάζει κάτι και στη διάσταση του χρόνου (πράγματι όπως θα δούμε στο δεύτερο κεφάλαιο - παρ. 2.5 - ο χρόνος κοντά σε μία μεγάλη μάζα κυλά πιο αργά απ' ότι μακριά απ' αυτήν).

Αυτές οι απόψεις του Einstein για τη φύση του χωροχρόνου οδήγησαν σε μία πολύ παράξενη και εντυπωσιακή ιδέα.

Φανταστείτε ένα σώμα με πολύ μεγάλη μάζα, συγκεντρωμένη σε έναν πολύ μικρό χώρο. Ένα τέτοιο σώμα θα μπορούσε να καμπυλώσει τον χωροχρόνο γύρω του σε τέτοιο βαθμό που η καμπύλωσή του θα δημιουργούσε έναν «κλειστό δρόμο». Στο παράδειγμα με το τεντωμένο ύφασμα που καμπυλώνεται, η μάζα που έχουμε τοποθετήσει στο ύφασμα το αναγκάζει να «διπλώσει». Μπορεί όμως να υπάρξει κάτι τέτοιο στη φύση;

Από την θεωρία της Αστρικής Εξέλιξης¹ ένα τέτοιο αντικείμενο μπορεί να σχηματιστεί στο τέλος της ζωής ενός γιγαντιαίου αστέρα. Ο πυρήνας του αστέρα αυτού καταρρέει κάτω από την βαρύτητα και συμπιέζεται σε ένα σημείο άπειρης πυκνότητας το οποίο ονομάζεται «**Μοναδικότητα**». Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ο χωροχρόνος γύρω από αυτό το σημείο να καμπυλωθεί τόσο έντονα που πρακτικά να αποκοπεί από το υπόλοιπο Σύμπαν.

Το αντικείμενο που έχει δημιουργηθεί ονομάζεται «**Μελανή Οπή**».^{[1],[28]}

Οι Μελανές Οπές είναι η τρίτη μορφή Συμπαγών Αστέρων¹, ή με άλλα λόγια η τρίτη από τις τελικές καταστάσεις στις οποίες είναι δυνατόν να περιέλθει ένας αστέρας, αφού εξαντλήσει τα «καύσιμά» του, καταστραφεί η υδροστατική του ισορροπία και υποκύψει τελικά στη δύναμη της βαρύτητας.^{[1],[32]}

¹Η θεωρία της Αστρικής Εξέλιξης προβλέπει την δημιουργία, στο τέλος της ζωής ενός αστέρα, τριών τελικών καταστάσεων δηλαδή τριών μορφών Συμπαγών Αστέρων (compact stars), τους Λευκούς Νάνους, τους Αστέρες Νετρονίων και τις Μελανές Οπές.

Συγκεκριμένα, αν η μάζα του αρχικού αστέρα είναι 10 φορές μεγαλύτερη αυτής του δικού μας Ήλιου ($M_{BH} > 10M_{\odot}$), ο αστέρας αυτός θα εξαντλήσει τα καύσιμά του με εκπληκτικά ταχύ ρυθμό, μόλις σε μερικά εκατομμύρια έτη, (ενώ ο αντίστοιχος χρόνος για αστέρες της τάξης του Ήλιου, είναι περίπου 10 δισεκατομμύρια έτη^{[18],[28]}). Η βαρύτητα των υπερκείμενων στρωμάτων θα δημιουργήσει βαρυτική πίεση τόσο υψηλή, ώστε καμιά μορφή πίεση (είτε υδροστατικής είτε χβαντομηχανικής προελεύσεως) δεν είναι ικανή να την αντισταθμίσει.

Η ύλη καταρρέει μέσα στην ίδια την ύλη δημιουργώντας έτσι ένα αντικείμενο εξαιρετικά μεγάλης πυκνότητας! Οι διαστάσεις του αντικειμένου, που θα δημιουργηθεί, είναι μηδενικές, ενώ η πυκνότητά του άπειρη. Το βαρυτικό του πεδίο είναι τόσο ισχυρό, ώστε από κάποια απόσταση² και μετά τίποτε, ούτε ακόμη και το ίδιο το φως, δεν μπορεί να διαφύγει. Μιλάμε λοιπόν για τον τελικό θρίαμβο της βαρύτητας!³ Όπως είναι γνωστό από την Αστροφυσική, στις προαναφερθείσες δύο περιπτώσεις αστέρων που φθάνουν στο τέλος της ζωής τους εξαντλώνοντας τα καύσιμά τους, τόσο οι Λευκοί Νάνοι όσο και οι Αστέρες Νετρονίων έχουν μία μέγιστη επιτρεπτή μάζα. Όταν ένας λευκός νάνος υπερβεί το όριο *Chandrasekhar*⁴ (την μέγιστη γι' αυτόν επιτρεπτή μάζα), τότε η πίεση των εκφυλισμένων ηλεκτρονίων δεν είναι αρκετή πια, ώστε να ισορροπήσει τη βαρύτητα. Το αποτέλεσμα είναι να καταρρεύσει σε έναν Αστέρα Νετρονίων, που η ισορροπία του οφείλεται στην πίεση των εκφυλισμένων νετρονίων, η χβαντομηχανικής προελεύσεως πίεση των οποίων αναχαιτίζει τη βαρυτική πίεση.^{[1],[32]}

Τι όμως θα συμβεί, εάν ένας αστέρας νετρονίων υπερβεί την αντίστοιχη μέγιστη επιτρεπόμενη μάζα του; (όριο *Oppenheimer-Volkoff-Snyder*) Σ' αυτή την περίπτωση, σύμφωνα με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, τίποτε δεν μπορεί να σταματήσει την κατάρρευση.

²Η απόσταση αυτή ονομάζεται «ακτίνα βαρύτητας» ή «ακτίνα *Schwarzschild*» και θα την αναλύσουμε παρακάτω.

³Στο κεφάλαιο 1 θα αναφερθούμε λεπτομερώς στην αστρική εξέλιξη και στις Μελανές Οπές ως φυσικό αποτέλεσμα της βαρυτικής κατάρρευσης αστέρων.

⁴Το όριο «*Chandrasekhar*» για τους λευκούς νάνους ισούται με $1,4M_{\odot}$ ενώ το αντίστοιχο για τους αστέρες νετρονίων όριο «*Oppenheimer – Volkoff – Snyder*» βρίσκεται στο διάστημα $0,7M_{\odot} < M_{OVS} < 3,2M_{\odot}$

Καθώς ο αστέρας καταρρέει, το βαρυτικό του πεδίο ολοένα αυξάνεται, με αποτέλεσμα κάποια στιγμή ούτε το φως δεν μπορεί να δραπετεύσει από την επιφάνειά του. (Μελανή Οπή)

Οι Μελανές Οπές (Μαύρες Τρύπες) πήραν αυτό το όνομα αυτό καθόσον, αφού δεν αφήνουν το φως να ξεφύγει, είναι σκοτεινές δηλαδή **μελανές (μαύρες)** και επειδή, αν οποιοδήποτε αντικείμενο την πλησιάσει εγγύτερα από την ακτίνα Schwarzschild, είναι καταδικασμένο να καταλήξει στο κέντρο τους, χωρίς να μπορεί ξανά να βγει απ' αυτές, δηλαδή **οπές (τρύπες)**.

Η ιδέα των Μελανών Οπών αρχικά αναπτύχθηκε στο γόνιμο μυαλό του αιδεσιμότατου John Mitchell (εφημέριου του Thornhill στο Yorkshire της Αγγλίας και μέλους της Βασιλικής Εταιρίας).^[47] Βασίσθηκε στις ιδέες του Ισαάκ Νεύτωνα, ο οποίος σ' ένα άρθρο του στα 1783 υποστήριξε πως, εάν ένας αστέρας είναι ικανά συμπαγής, τότε η ταχύτητα διαφυγής από την επιφάνειά του είναι δυνατόν να ξεπερνά την ταχύτητα του φωτός. Στην περίπτωση αυτή, έγραφε, ο αστέρας θα πρέπει να παραμένει σκοτεινός, αφού ούτε το φως θα μπορούσε να δραπετεύσει από την επιφάνειά του. Η ανάλυσή του μάλιστα, βασισμένη στους νόμους του Νεύτωνα για τη βαρύτητα, κατέληγε στο ότι η ακτίνα ενός τέτοιου αστέρα θα έπρεπε να ήταν:

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

που, όπως θα αναφερθεί παρακάτω, συμπίπτει με την τιμή για την ακτίνα Schwarzschild, που προκύπτει από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας (ΓΣΘ).^{[44],[46]}

Μπορεί σήμερα να γνωρίζουμε ότι η παραπάνω τιμή δεν μπορεί να προκύψει από τη Νευτώνεια Θεωρία, διότι, αφού στη σχέση υπάρχει η σχετικιστική τιμή c για την ταχύτητα του φωτός, οι μελανές οπές θα πρέπει να μελετηθούν αυστηρά στο πλαίσιο της ΓΘΣ. Παρόλα ταύτα η ακρίβεια με την οποία ο Mitchell είχε προσεγγίσει την τιμή της ακτίνας είναι εκπληκτική!⁵

⁵Τα ιστορικά στοιχεία για την πρώτη σύλληψη της ιδέας για τις μελανές οπές από τον Mitchell αναφέρονται στα πρακτικά του 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ε-

Τις ιδέες του ακολούθησε ο P.S. Laplace (1749-1827) στη Γαλλία, αλλά τις εγκατέλειψε, όταν ο Thomas Young (1773-1829) έδειξε με το πείραμα των δύο σχισμών στα 1801, ότι το φως αποτελείται από κύματα (πρέπει να τονισθεί ότι η εργασία του Mitchell βασιζόταν στη σωματιδιακή θεωρία του Νεύτωνα για το φως, οπότε η απόδειξη της κυματικής φύσης του αποθάρρυνε τον Laplace).^{[44],[46]} Έναν αιώνα αργότερα, στα 1915, ο Karl Schwarzschild (1873-1916) παρουσίασε μία λύση των εξισώσεων πεδίου της ΓΘΣ (δύο μόλις μήνες μετά την παρουσίασή της από τον Einstein) η οποία περιέγραφε μια Μελανή Οπή, όπως αυτή προέκυπτε από τις εξισώσεις πεδίου για μια στατική σφαιρικά συμμετρική μάζα M .

Χωρίς αμφιβολία οι μελανές οπές αποτελούν τα πιο μυστηριώδη και γοητευτικά αντικείμενα στη σύγχρονη Αστροφυσική. Η μελέτη τους όμως είναι αρκετά δύσκολη, αφού απαιτεί την κατανόηση της ΓΘΣ. Παρακάτω γίνεται μια προσπάθεια για μια όσο το δυνατόν απλουστευμένη θεώρηση της έννοιας της μελανής οπής μέσα όμως στο πλαίσιο της ΓΘΣ.

ρασιτεχνικής Αστρονομίας που διεξήχθη τον Οκτώβριο 2007 στο συνεδριακό και πολιτιστικό κέντρο του Πανεπιστημίου Πατρών.

