

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κα. ΛΑΜΠΟΥΡΑ ΣΤΕΦΑΝΙΑ

ΘΕΜΑ

«ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΒΑΡΥΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΤΟΥ
ΕΙΝΣΤΕΙΝ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΡΙΟ LIGO ΣΤΙΣ ΗΠΑ ΚΑΙ Η
ΣΥΜΒΟΛΗ ΕΛΛΗΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΩΝ ΣΕ ΑΥΤΗ ΤΗΝ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ»

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΣΦΥΡΑΚΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

A.G.M: 3467

Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας:

Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:

A/A	Όνοματεπώνυμο	Ειδικότητα	Αξιολόγηση	Υπογραφή
1				
2				
3				
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ				

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ :

ΙΟΥΝΙΟΣ 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	4
ΧΩΡΟΧΡΟΝΟΣ	12
ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΧΩΡΟΧΡΟΝΟΥ.....	14
ΜΑΥΡΕΣ ΤΡΥΠΕΣ.....	16
ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΜΑΥΡΕΣ ΤΡΥΠΕΣ.....	16
ΔΟΜΗ ΜΑΥΡΩΝ ΤΡΥΠΩΝ.....	18
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΑΥΡΩΝ ΤΡΥΠΩΝ.....	19
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	20
ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΒΑΡΥΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ.....	22
ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΒΑΡΥΤΙΚΩΝ/ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ.....	25
ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΩΝ ΒΑΡΥΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ.....	27
ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΡΥΘΡΟ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ.....	27
ΒΑΡΥΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΛΗΘΩΡΙΣΜΟΣ.....	29
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΤΗΣ ΥΠΑΡΞΗΣ ΒΑΡΥΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ.....	37
Ο ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ LIGO.....	41
ΟΙ ΣΚΟΥΛΗΚΟΤΡΥΠΕΣ.....	46
Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΕΛΛΗΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΩΝ ΣΕ ΑΥΤΗ ΤΗΝ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ...	47
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	55
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	57
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ- ΠΗΓΕΣ.....	58

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

«Η ύλη λέει στο χωρόχρονο πώς να καμπυλωθεί και ο χωρόχρονος λέει στην ύλη πώς να κινηθεί.»

J.A. Wheeler

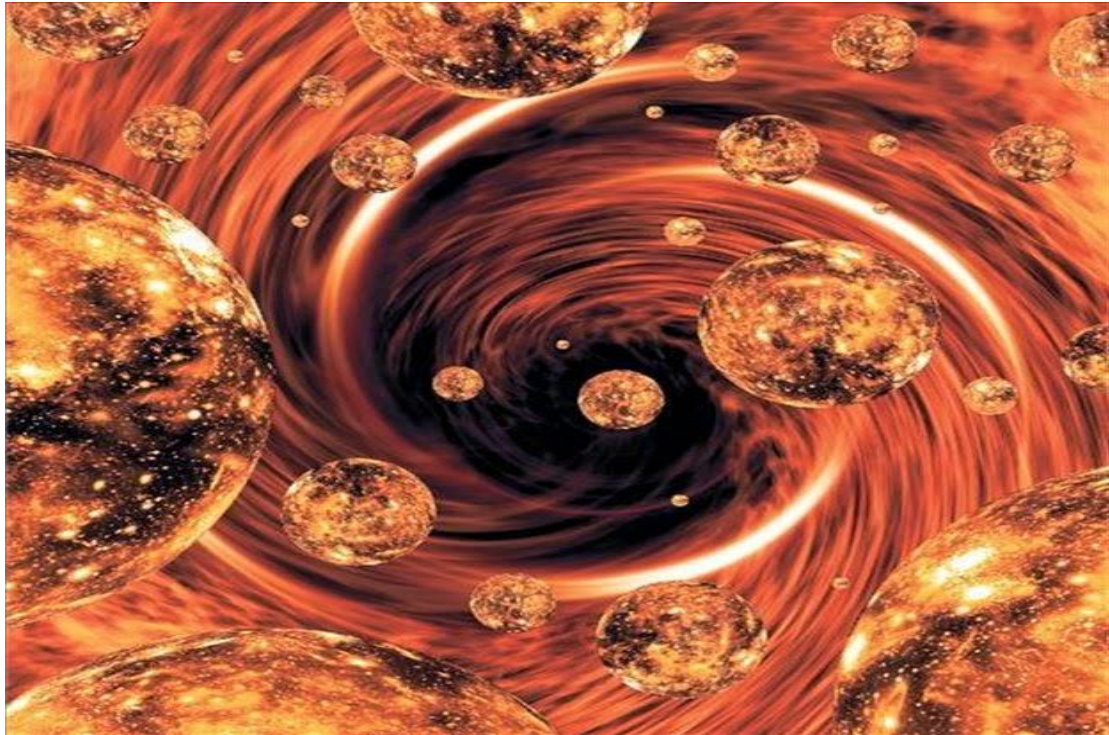
Παγκόσμιο ενδιαφέρον έχει προκαλέσει η ανακοίνωση της ανακάλυψης των περίφημων βαρυτικών κυμάτων, ρυτιδώσεων στον χωροχρόνο που εμφανίστηκαν μια στιγμή μετά τη Μεγάλη Έκρηξη από την οποία προέκυψε το Σύμπαν.

Η ανακάλυψη αυτών των κυμάτων προσφέρει στήριξη στη λεγόμενη θεωρία του πληθωρισμού, σύμφωνα με την οποία το νεογέννητο Σύμπαν πέρασε από μια φάση απότομης διόγκωσης.

Κεντρική ιδέα αυτής της θεωρίας είναι ότι το Σύμπαν μας είναι μόνο μία «μονάδα» μέσα σε ένα άπειρο και συνεχώς επεκτεινόμενο σύνολο ασύνδετων μεταξύ τους παράλληλων συμπάντων που αποτελούν το Πολυσύμπαν.

Την ύπαρξη του Πολυσύμπαντος προτείνουν και άλλες θεωρίες όπως η Θεωρία των Χορδών και τομείς της θεωρητικής φυσικής όπως η κβαντομηχανική.

ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ



Η Γ.Θ.Σ εμφανίστηκε το 1916 από τον Αϊνστάιν και από τότε αποτελεί το μεγαλύτερο πεδίο “διαμάχης” της επιστημονικής κοινότητας. Αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της ανθρώπινης νόησης και η σχέση της με την Αστροφυσική και την Κοσμολογία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη, καθώς οι μαύρες τρύπες και τα βαρυτικά πεδία αποτελούν αναπόσπαστες και σαφείς προβλέψεις της. Αξίζει εδώ να μνημονεύσουμε την σημαντική συμβολή του Έλληνα μαθηματικού Κ. Καραθεοδωρή .Στην τελευταία συνέντευξη τύπου που έδωσε ο Αϊνστάιν δήλωσε:

« Κύριοι λυπάμαι που σας βλέπω έτοιμους να φύγετε χωρίς να μου υποβάλετε την ουσιαστικότερη ίσως ερώτηση. Ζητήσατε να σας απαντήσω σε χίλια δυο πράγματα , κανείς όμως δεν θέλησε να μάθει ποιος ήταν ο δάσκαλός μου, ποιος μου έδειξε και μου άνοιξε τον δρόμο προς την ανώτερη μαθηματική επιστήμη, σκέψη, και έρευνα. Και για να μη σας κουράζω, σας το λέω έτσι απλά χωρίς λεπτομέρειες, ότι ο μεγάλος μου

δάσκαλος υπήρξε ο αζεπέραστος Έλληνας Κωνσταντίνος Καραθεοδωρής, στον οποίο εγώ προσωπικά, αλλά και η μαθηματική επιστήμη, η φυσική και η σοφία του αιώνα μας χρωστάμε τα πάντα».

Καμία θεωρία ή ανακάλυψη από εκείνες που χάραξαν την πορεία της επιστήμης δεν υπήρξε έργο ενός μόνο ανθρώπου.

Από τον παραπάνω κανόνα δεν θα μπορούσε να εξαιρεθεί η Θεωρία της Σχετικότητας. Τεράστιο το έργο που βρήκε έτοιμο ο Αϊνστάιν. Τα κυριότερα μέρη του ήταν:

- Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell που προέβλεπε τη σταθερότητα της ταχύτητας του φωτός, και καθιστούσε αναγκαία τη διατύπωση των φυσικών νόμων με τρόπο ανεξάρτητο του (αδρανειακού) συστήματος αναφοράς («Αρχή της Σχετικότητας»).
- Το πείραμα των Michelson και Morley που απεδείκνυε τη σταθερότητα της ταχύτητας του φωτός σε σχέση με την κίνηση της Γης (ή, σύμφωνα με τη νοοτροπία των φυσικών εκείνης της εποχής, την «αδυναμία εξακρίβωσης της κίνησης της μέσα στον Αιθέρα»).
- Οι «μετασχηματισμοί του Lorentz» (μία πρωτόλεια διατύπωση των οποίων είχε γίνει ήδη το 1887, από τον Woldemar Voigt) που επινοήθηκαν από τον Ολλανδό φυσικό Hendrik Antoon Lorentz, και προσέφεραν τη βασική μορφή της παραπάνω αναγκαίας διατύπωσης των φυσικών νόμων κατά τρόπο ισοδύναμο για όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς, όπως επίσης και η διαπίστωση του Ιρλανδού φυσικού George Francis Fitzgerald, πως το μήκος ενός κινούμενου σώματος ελαττώνεται κατά τη διεύθυνση της κίνησης του («συστολή Fitzgerald»).
- Ιδιαίτερα αξιοπρόσεκτο, κατά γενική ομολογία, υπήρξε το έργο του διάσημου Γάλλου φυσικομαθηματικού Jules Henri Poincare. Πράγματι, δεν λείπουν ακόμα και εκείνοι (E. T. Whittaker, A. A. Logunov) που εκτιμούν ότι αυτός ήταν ο πραγματικός θεμελιωτής της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας, ενώ οι περισσότεροι από τους επαΐοντες αναγνωρίζουν τη σημαντική του προσφορά και αρκετοί χαρακτηρίζουν την (Ειδική, πάντοτε!) Θεωρία της Σχετικότητας ως «θεωρία των Αϊνστάιν - Poincare».

Οπωσδήποτε ο τελευταίος είχε συνειδητοποιήσει ήδη από το 1895 ότι: Κανένα πείραμα, οποιασδήποτε φύσεως δεν ήταν δυνατόν να αποκαλύψει την κίνηση της Γης μέσα στον Αιθέρα, και είχε διατυπώσει ήδη από το 1904 (ένα έτος πριν τη διατύπωση της από τον Αϊνστάιν) την Αρχή της Σχετικότητας («Οι νόμοι της Φυσικής είναι οι ίδιοι σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς»). Δεν του είχε διαφύγει επίσης το γεγονός πως αν δύο γεγονότα είναι ταυτόχρονα ή όχι, αυτό εξαρτάται από το σύστημα αναφοράς στο οποίο εξετάζονται, ενώ είχε επίσης επινοήσει και την τεχνική του προσδιορισμού του ταυτόχρονου μέσω ανταλλαγής φωτεινών σημάτων (μία υποθετική τεχνική στην οποία ο Αϊνστάιν αναφέρθηκε κατά κόρον).

Ακόμα, είχε επεξεργαστεί πλήρως τους μετασχηματισμούς Lorentz, σε ό,τι αφορά τα φαινόμενα του ηλεκτρομαγνητισμού, και είχε κάνει τη διαπίστωση ότι οι μετασχηματισμοί αυτοί αποτελούν «Ομάδα»(κατέχουν, δηλαδή, ορισμένες θεμελιώδεις αλγεβρικές ιδιότητες, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό). Σε αυτόν ανήκει, περαιτέρω, και μια πρώτη υπόθεση πως η ταχύτητα του φωτός ενδέχεται να είναι ένα αξεπέραστο όριο για τα υλικά σώματα. Ο Poincare είχε, τέλος, προσδιορίσει (όπως και οι Joseph Thomson και F.Hasenohrl) πως μια ποσότητα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με ενέργεια E εμφανιζόταν να διαθέτει και μάζα ίση με $m = E/c^2$.

Η διαπίστωση αυτή αποτελούσε προάγγελο της διάσημης σχέσης ισοδυναμίας μάζας-ενέργειας $E = mc^2$ την οποία ο Αϊνστάιν εξήγαγε θεωρητικά. Ωστόσο, όπως και ο Lorentz, ο Poincare δεναπαλλάχθηκε ποτέ από την πίστη στην ύπαρξη του Αιθέρα, γεγονός που (όπως προκύπτει από κείμενα του) τον εμπόδιζε να συνειδητοποιήσει σε όλη της την πληρότητα την ισοδυναμία των αδρανειακών συστημάτων, παρ' όλη τη διατύπωση εκ μέρους του της Αρχής της Σχετικότητας (την ισχύ της οποίας εμφανιζόταν να έχει διαρκώς υπό αίρεση).

- Η Αρχή της Ισοδυναμίας αδρανειακής και βαρυτικής μάζας του Γαλιλαίου και του Νεύτωνα, η οποία αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας.
- Η Γεωμετρία του Riemann, και ιδιαιτέρως ο κλάδος της ο γνωστός ως Τανυστικός Λογισμός(αναπτύχθηκε από τους Bruno Ricci και Tullio Levi Civita) που αποτέλεσαν και αποτελούν την κυριότερη μαθηματική έκφραση της Θεωρίας της Σχετικότητας.

Αποτελεί αντικείμενο συζήτησης το κατά πόσον ο Αϊνστάιν είχε υπόψη του όλες τις παραπάνω εργασίες (ένα από τα σχετικά άρθρα του Poincare, για παράδειγμα, δημοσιεύτηκε όχι νωρίτερα από το 1906, ενώ η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας είχε γίνει γνωστή ήδη από το 1905). Οπωσδήποτε όμως το έργο του βασιζόταν στο μεγαλύτερο μέρος των αποκτημάτων αυτών της επιστήμης, και αποτελούσε, ουσιαστικά, μια συγκεφαλαίωση και θεωρητική ερμηνεία των περισσότερων από αυτά.

Σημαντικότερη ήταν και η συνεισφορά επιστημόνων που εργάστηκαν ταυτόχρονα με τον Αϊνστάιν, ενίοτε και σε συνεργασία μαζί του. Παραθέτουμε τα κυριότερα ονόματα και το αντίστοιχο έργο:

- Ο προσδιορισμός του χώρου και του χρόνου ως ενός ενιαίου συνεχούς («Χωροχρόνος») στο οποίο εκδηλώνονται όλα τα φαινόμενα της Φυσικής έγινε από τον μαθηματικό Hermann Minkowski (καθηγητή τόσο του Αϊνστάιν στο Πολυτεχνείο της Ζυρίχης, όσο και του Καραθεοδωρή στο Πανεπιστήμιο του Goettingen). Στον ίδιο ανήκει και η διαπίστωση ότι το διάστημα μεταξύ δύο σημείων του χωροχρόνου («γεγονότων») γνωστό και ως «μετρική» ή «γραμμικό στοιχείο» αποτελεί αναλλοίωτη ποσότητα.
- Η αρχική εργασία πάνω στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας έγινε από κοινού από τον Αϊνστάιν και τον παλιό συμφοιτητή και φίλο του, μαθηματικό Marcel Grossmann, έναν εκ των θεμελιωτών (μαζί με τους Rudolf Fueter και Henri G. Fehr) της Ελβετικής Μαθηματικής Εταιρείας («Schweizerische Mathematische Gesellschaft») και πρόεδρο της κατά τη χρονική περίοδο 1916-17. Οι δύο φίλοι υπέγραψαν επίσης μαζί το πρώτο σχετικό άρθρο το 1913, με το φυσικό μέρος γραμμένο από τον Αϊνστάιν και το μαθηματικό από τον Grossmann. Προς τιμήν του τελευταίου για τη συμβολή του αυτή, από το 1975 και κάθε τρία έτη διοργανώνεται το «συνέδριο Marcel Grossmann επί των προσφάτων εξελίξεων στη θεωρητική και πειραματική Γενική Σχετικότητα».
- Η θεμελιώδης εξίσωση της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας («Εξίσωση Βαρυτικού Πεδίου του Αϊνστάιν» - ουσιαστικά πρόκειται για σύστημα 10 μη γραμμικών μερικών διαφορικών εξισώσεων) ανακαλύφθηκε από τον Αϊνστάιν το 1915 με βάση φυσικούς συλλογισμούς, εξετέθη δε, μαζί με την πορεία που οδήγησε έως αυτήν, σε τέσσερα άρθρα προς την Πρωσική Ακαδημία

Επιστημών με ημερομηνίες 4,11,18, και 25 Νοεμβρίου του ίδιου έτους. Η συγκεκριμένη, όμως, εξίσωση η οποία διατυπωνόταν στοτελευταίο από τα άρθρα αυτά, ανακαλύφθηκε ταυτόχρονα και από τον David Hubert με καθαρά μαθηματικούς συλλογισμούς. Ο Hubert, προχώρησε στην ανακάλυψη του έχοντας υπόψη τις ιδέες και την προηγηθείσα προσπάθεια του Αϊνστάιν (η οποία είχε γίνει γνωστή, εκτός των άλλων, και από το απόκοινού άρθρο του με τον Grossmann) για συσχετισμό με κατάλληλη εξίσωση της γεωμετρίας του χωροχρόνου με τη μάζα και ενέργεια που αυτός περιέχει, με στόχο την περιγραφή του βαρυτικού πεδίου. Παρουσίασε την σχετική εργασία του στη Βασιλική Εταιρεία του Goettingen στις 20 Νοεμβρίου του 1915. Δεν πρέπει να παραλείψουμε να αναφέρουμε πως ο Hubert υπήρξε καθηγητής του Κωνσταντίνου Καραθεοδωρή στο Πανεπιστήμιο του Goettingen.

- Η πρώτη εκπεφρασμένη λύση της Εξίσωσης Βαρυτικού Πεδίου του Αϊνστάιν («μετρική Schwarzschild» ή «λύση Schwarzschild», ή «γραμμικό στοιχείο Schwarzschild») δόθηκε το 1916, δύο μόλις μήνες μετά τη δημοσίευση της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας, από τον Karl Schwarzschild, διευθυντή του Αστροφυσικού Παρατηρητηρίου του Potsdam, και έναν από τους Ακαδημαϊκούς που εξέτασαν τον Καραθεοδωρή κατά την υποβολή της διδακτορικής του διατριβής, το 1904. (Ας σημειωθεί πως η εργασία του έλαβε χώρα ενώ ο Α' Παγκόσμιος Πόλεμος μαινόταν, και ο ίδιος υπηρετούσε στο Ρωσικό μέτωπο). Η λύση αυτή αφορά τον χωροχρόνο γύρω από μάζα με σφαιρικά συμμετρική κατανομή, που περιβάλλεται από κενό, κατά τα άλλα, χώρο («Χωροχρόνος Schwarzschild») και είναι, επομένως, κατάλληλη για να περιγράψει τη γεωμετρία του χωροχρόνου γύρω από τον Ήλιο, δεδομένου ότι το πλησιέστερο προς αυτόν άστρο βρίσκεται σε τεράστια απόσταση, ενώ οι μάζες των πλανητών είναι αμελητέες. Χάρη στη λύση του Schwarzschild, έγινε δυνατό να ερμηνευθεί θεωρητικά το από καιρό γνωστό φαινόμενο της μετάπτωσης του περιηλίου του Ερμή, και να προβλεφθεί η καμπύλωση των ακτινών του φωτός στο βαρυτικό πεδίο του Ήλιου, το οποίο και παρατηρήθηκε στη συνέχεια (οι ίδιοι υπολογισμοί είχαν ήδη γίνει και από τον Αϊνστάιν, πριν την εμφάνιση της «λύσης του Schwarzschild», με προσεγγιστικές μεθόδους) καθώς και μερικά άλλα φαινόμενα (μετατόπιση προς το ερυθρό της συχνότητας του φωτός, καθυστέρηση των σημάτων του ραντάρ κατά την έξοδο ή τη διέλευση από πεδίο βαρύτητας, αντίστοιχα). Από την ίδια αυτή

λύση προήλθαν και οϊπρώτες ενδείξεις για την ύπαρξη στο Σύμπαν «εξωτικών» αντικειμένων γνωστών ως «Μαύρες Τρύπες»(αστρικά αντικείμενα με ιδιαίτερα μεγάλη πυκνότητα, τέτοια ώστε ούτε αυτό το φως δεν είναι δυνατόν να διαφύγει από το βαρυτικό τους πεδίο) γεγονός που οδήγησε στη θεμελίωση της Σχετικιστικής Αστροφυσικής.

- Η προαναφερθείσα παρατηρησιακή επαλήθευση της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας σε ό,τι αφορά την καμπύλωση των φωτεινών ακτινών υπήρξε έργο του διάσημου αστρονόμου Sir Arthur Stanley Eddington, ο οποίος, επικεφαλής αποστολής στη νήσο Principe (Δυτική Αφρική) κατόρθωσε να μετρήσει την εκτροπή του φωτός των άστρων που εμφανίζονταν κοντά στον Ήλιο κατά την ολική έκλειψη της 29ης Μαΐου 1919. Η επαλήθευση αυτή υπήρξε, εκτός των άλλων, η αρχή για τη μεγάλη δημόσια αναγνώριση του Αϊνστάιν, όχι μόνον από τον κόσμο της επιστήμης στον οποίο ήταν ήδη γνωστός, αλλά και από την κοινή γνώμη). Ο Eddington ήταν επίσης ο συγγραφέας του έργου «The Mathematical Theory of Relativity» (1922) μίας από τις πρώτες μονογραφίες επί της Θεωρίας της Σχετικότητας, καθώς και κάποιων άλλων απλούστερων και μικρότερης έκτασης εργασιών πάνω στο ίδιο θέμα.
- Το μεγαλύτερο μέρος της επιστημονικής κοινότητας, αρχικά συμφωνούσε πως η πρόβλεψη για την ύπαρξη αντικειμένων όπως οι Μαύρες Τρύπες ήταν στην πραγματικότητα ένα παράδοξο της νέας θεωρίας, κάτι σαν μαθηματική ιδιομορφία της, και πως τα δεδομένα του φυσικού Σύμπαντος θα απέτρεπαν πάντα την εμφάνιση παρόμοιων «εξωτικών» μορφωμάτων. Την αντίληψη αυτή ήλθε να ανατρέψει το έργο του Ινδού αστροφυσικού Subrahmanyan Chandrasekhar, μεταπτυχιακού φοιτητή του A. Eddington, ο οποίος, συνδυάζοντας τις αρχές της Θεωρίας της Σχετικότητας με εκείνες της Κβαντομηχανικής, απέδειξε (με υπολογισμό τον οποίο επεξεργάστηκε σε ηλικία 19 ετών, τον Ιούλιο του 1930, μέσα σε υπερωκεάνιο, ταξιδεύοντας από τις Ινδίες στην Αγγλία) ότι τα άστρα με μάζα μεγαλύτερη από το 1,4 περίπου εκείνης του Ηλίου είναι και από φυσική άποψη δυνατόν να εξελιχθούν σε «υπέρπυκνα αντικείμενα», όπως άστρα νετρονίων και Μαύρες Τρύπες. (Μερικές δεκαετίες αργότερα, ο Roger Penrose θα αποδείκνυε ότι η εξέλιξη αυτή είναι όχι μόνον δυνατή αλλά και αναπόφευκτη.)

- Η εφαρμογή της Εξίσωσης Βαρυτικού Πεδίου στο Σύμπαν, ως ενιαίο όλο, πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Ρώσο φυσικομαθηματικό Alexander Friedmann, κατά την περίοδο 1922 -1924, και συνεχίστηκε (μετά το πρόωρο τέλος του πρώτου το 1925, σε ηλικία 36 ετών) από τον αβιά, και καθηγητή της Φυσικής Georges Lemaitre, το 1927. Διαπιστώθηκε πως το Σύμπαν δεν ήταν στατικό, αλλά δυναμικό, ευρισκόμενος είτε σε διαστολή (διαρκή αύξηση των αποστάσεων ανάμεσα σε όλα τα αντικείμενα που υπάρχουν σε αυτό) είτε σε συστολή (διαρκή ελάττωση των ανωτέρω αποστάσεων) κάτι που επαληθεύτηκε παρατηρησιακά το 1929, από τον Αμερικανό αστρονόμο Edwin Hubble, ο οποίος, ανακαλύπτοντας την ύπαρξη και άλλων γαλαξιών εκτός του δικού μας, διαπίστωσε παράλληλα το φαινόμενο της διαρκούς αμοιβαίας απομάκρυνσης τους με σχετική ταχύτητα τόσο πιο μεγάλη όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που τους χωρίζει. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε πως ο Αϊνστάιν, διαπιστώνοντας πως η Εξίσωση Βαρυτικού Πεδίου, όπως είχε αρχικά διατυπωθεί από τον ίδιο και τον Hubert, δεν συμβιβαζόταν με ένα στατικό Σύμπαν (το τελευταίο αποτελούσε «αυτονόητο δεδομένο» για την επιστημονική κοινότητα της τότε εποχής) προχώρησε απρόθυμα σε μια ad hoc τροποποίηση της προσθέτοντας τη λεγόμενη «κοσμολογική σταθερά». Αρχικά μάλιστα, ο Αϊνστάιν, με επιστολή του στο Zeitschrift fuer Physik, είχε χαρακτηρίσει τη νεργασία του Friedmann (η οποία είχε δημοσιευθεί το 1922 στο ίδιο έντυπο) ως εσφαλμένη, αργότερα όμως ανακάλεσε την άποψη του αυτή, χαρακτηρίζοντας την προσθήκη της «κοσμολογικής σταθεράς» στην Εξίσωση Βαρυτικού Πεδίου ως «τη μεγαλύτερη χονδροκοπιά της ζωής του». Όλα αυτά δείχνουν καθαρά πόσο σημαντική υπήρξε η παράλληλη εργασία περισσότερων του ενός επιστημόνων στη διαμόρφωση της Θεωρίας της Σχετικότητας - όπως και κάθε θεωρίας, άλλωστε!

Οι παραπάνω ερευνητές δεν είναι παρά μερικοί (οι κυριότεροι, πιστεύουμε) από εκείνους που συνεισέφεραν, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, στην πρωταρχική θεμελίωση της Θεωρίας της Σχετικότητας. Υπήρξαν και άλλοι πολλοί (Weyl, de Sitter, Goedel, Schroedinger, κ.ά.) που έπαιζαν κάποιον διόλου ευκαταφρόνητο ρόλο στην ίδια προσπάθεια, καθώς και αρκετοί (Cartan, Kaluza, Klein, Strauss, κ.ά., συμπεριλαμβανομένου και του ίδιου του Αϊνστάιν) οι οποίοι επιχείρησαν, ευθύς εξ αρχής, ευρύτερες γενικεύσεις της θεωρίας. Εκτός από πρακτικά αδύνατο, θα ήταν και

άσκοπο να αναφερθούμε σε όλους, δεδομένου ότι έχει ήδη γίνει σαφές αυτό που θέλαμε να δείξουμε: Η γέννηση της Θεωρίας της Σχετικότητας (όπως και κάθε θεωρίας) υπήρξε συνισταμένη των προσπαθειών πολλών σκαπανέων.

Η Γ.Θ.Σ έχει σαν βασική αρχή την αρχή της ισοδυναμίας. Ένας παρατηρητής κάποιου επιταχυνόμενου συστήματος αναφοράς , παρατηρεί ακριβώς τα ίδια πράγματα με ένα παρατηρητή που βρίσκεται μέσα σε ένα βαρυτικό πεδίο.

Η προαναφερόμενη βασική αρχή έχει να κάνει σχέση με το ότι η μάζα των σωμάτων εμφανίζει διττή φύση, α) η μάζα αποτελεί μέτρο της αδρανείας των σωμάτων (αδρανειακή μάζα) και β) όταν εισέλθει στο νόμο της παγκόσμιας έλξης , είναι το μέτρο των ελκτικών δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ των σωμάτων (βαρυτική μάζα).

Διάφορα πειράματα που έχουν εκτελεστεί κατά καιρούς συνηγορούν στο ότι οι δύο μορφές αυτές της μάζας ταυτίζονται, παρότι από την θεωρία δεν είναι προκύπτει ότι είναι αναγκαίο κάτι τέτοιο.

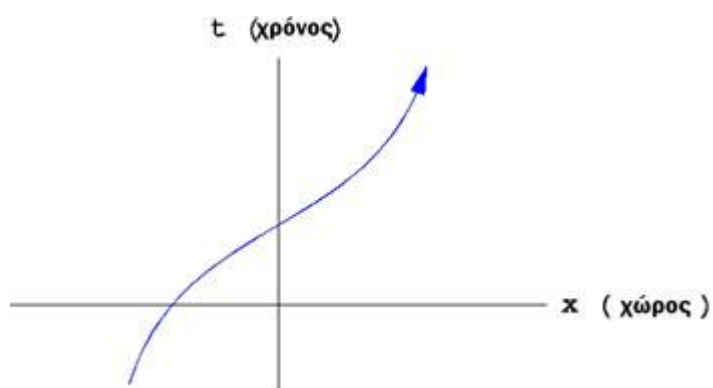
Έχει καθοριστική σημασία στην Γ.Θ.Σ καθώς αναφέρεται ότι οι νόμοι της φυσικής πρέπει να είναι ίδιοι σε όλα τα συστήματα αναφοράς, είτε είναι αυτά αδρανειακά είτε όχι.

Η Γ.Θ.Σ περιγράφει την έννοια του όρου της βαρύτητας με ένα πολύ συγκεκριμένο τρόπο: η μάζα καμπυλώνει τον χωροχρόνο και η καμπύλωση του χωροχρόνου καθορίζει την κίνηση της μάζας.

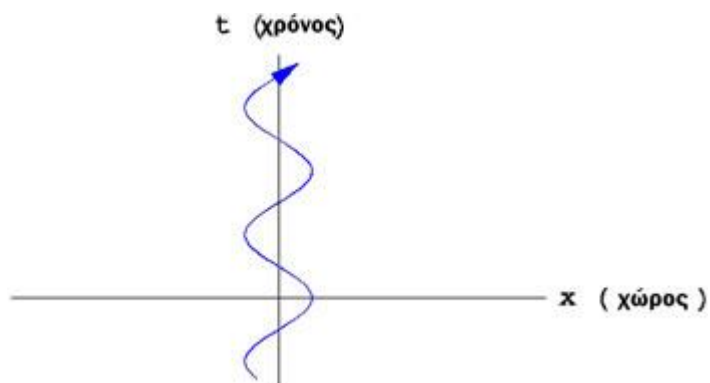
Οι πειραματικές και παρατηρησιακές επιβεβαιώσεις της Γ.Θ.Σ είναι οι ακόλουθες : α) η μετάθεση του περιηλίου του Ερμή, β) η βαρυτική καμπύλωση της τροχιάς του φωτός και γ) η βαρυτική ερυθρή μετατόπιση του φωτός.

ΧΩΡΟΧΡΟΝΟΣ

Στη νευτώνεια φυσική ο χώρος και ο χρόνος αντιμετωπίστηκαν εντελώς ξεχωριστά. Εντούτοις, στη θεωρία της σχετικότητας είναι εννοιολογικά απλούστερο να δούμε το χρόνο ως την τέταρτη διάσταση του χωροχρόνου. Αλλά επειδή δεν μπορούμε να απεικονίσουμε έναν κόσμο 4 διαστάσεων, θεωρούμε ότι είμαστε μονοδιάστατα όντα. Με άλλα λόγια ζούμε και κινούμαστε μόνο σε μια γραμμή. Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να απεικονίσουμε τον χωρόχρονο ως μια επιφάνεια 2 διαστάσεων, όπου η οριζόντια κατεύθυνση είναι ο χώρος και η κάθετη κατεύθυνση είναι χρόνος. Η κίνηση ενός σώματος αποτυπώνεται σε αυτόν τον χωρόχρονο με μια καμπύλη, την καθολική ή κοσμική γραμμή.



Η κοσμική γραμμή ενός αντικειμένου σε ένα μονοδιάστατο χώρο.



Η κοσμική γραμμή που βλέπουμε περιγράφει ένα σωματίδιο που ταλαντεύεται, όπως μια μάζα σε ένα ελατήριο. Καθώς ο χρόνος προχωρεί το σώμα κινείται πέρα δώθε περιοδικά.

Ο χρόνος δηλαδή είναι μία από τις τέσσερις διαστάσεις όπου ο τρισδιάστατος χώρος και ο μονοδιάστατος χρόνος αποτελούν ένα τετραδιάστατο χωροχρονικό συνεχές. Σύμφωνα, δηλαδή, με τον Αϊνστάιν, ένα αντικείμενο δεν μπορεί να υπάρχει στον χώρο χωρίς τη διάσταση του χρόνου, γιατί στη φυσική της Σχετικότητας ένα αντικείμενο κινείται στον χωρόχρονο και όχι μόνο στον χώρο. Κι ενώ οι έννοιες του χώρου και του χρόνου είναι σχετικές και εξαρτώνται από τον παρατηρητή και το σύστημα συντεταγμένων που αυτός επιλέγει, ο χωρόχρονος, ως ενοποιημένη έννοια, είναι απόλυτος.

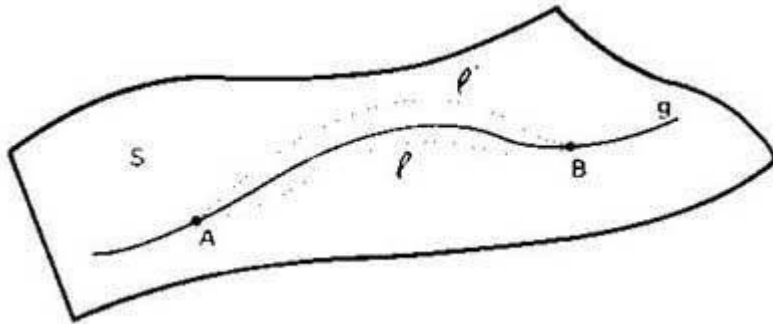
ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΧΩΡΟΧΡΟΝΟΥ

Η Σχετικότητα μας λέει επίσης ότι η βαρύτητα δεν είναι μια «πραγματική» δύναμη αλλά το αποτέλεσμα της παραμόρφωσης των τεσσάρων διαστάσεων του χωροχρόνου. Και έτσι η «βαρυτική δύναμη» του Ήλιου δεν είναι αυτή που έλκει τους πλανήτες, ούτε είναι η «βαρύτητα» της Γης η οποία έλκει προς τα κάτω τα μήλα ή οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο που πέφτει. Γιατί αυτό που συμβαίνει στην πραγματικότητα είναι ότι ο Ήλιος παραμορφώνει τον χωρόχρονο γύρω του και τον κάνει να καμπυλώνει. Όσο μάλιστα πλησιέστερα πάμε προς τον Ήλιο τόσο μεγαλύτερη είναι και η καμπυλότητα του χωροχρόνου. Έτσι, καθώς τα διάφορα αντικείμενα κινούνται μέσα στο σύμπαν, είναι σαν να κυλάνε μέσα, έξω και γύρω από αυτές τις χωροχρονικές παραμορφώσεις, ενώ η κίνησή τους επηρεάζεται από τις παραμορφώσεις αυτές παρόλο που δεν μπορούμε να τις δούμε. Βλέπουμε όμως το αποτέλεσμα που έχει η χωροχρονική παραμόρφωση πάνω στα διάφορα αντικείμενα και την επίδραση της φαινομενικά μυστηριώδους δύναμης που ονομάζουμε βαρύτητα. Σύμφωνα με τον Αϊνστάιν, δηλαδή, η δύναμη της βαρύτητας έχει την ικανότητα να παραμορφώνει έντονα τη γεωμετρία του χωροχρόνου, που με απλά λόγια σημαίνει ότι «ο χωρόχρονος λέει στην ύλη πώς να κινείται και η ύλη λέει στον χωρόχρονο πώς να παραμορφώνεται»

Σε ένα καμπύλο χώρο οι πορείες που μένουν παράλληλες η μία με την άλλη δεν είναι οι πορείες της ελάχιστης απόστασης και αντίστροφα. Σε οποιοδήποτε χώρο, η μικρότερη απόσταση μεταξύ δύο σημείων καλείται γεωδесιακή. Σε ένα επίπεδο χώρο, που σημαίνει έναν χώρο χωρίς κυρτότητα, οι γεωδесιακές είναι κανονικές ευθείες γραμμές που σχηματίζουν σταθερή γωνία η μία με την άλλη. Στους καμπύλους χώρους οι γεωδесιακές είναι γενικά πιο περίπλοκες.

Στον τετραδιάστατο χωρόχρονο μια γεωδесιακή δεν ορίζεται σαν η διαδρομή της ελάχιστης απόστασης αλλά σαν η απόσταση του ελάχιστου κανονικού χρόνου (ιδιοχρόνου). Πηγαίνοντας από το ένα γεγονός στο άλλο, ένα σώμα κινείται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να κάνει τον χρόνο του διαστημικού του ταξιδιού - όπως τον μετρούν τα ρολόγια του - ελάχιστο.

Οι γεωδειακές είναι οι γραμμές με το ελάχιστο δυνατό «μήκος» που συνδέουν δύο οποιαδήποτε σημεία μέσα στον καμπύλο ή επίπεδο χωρόχρονο, υπό τον όρο ότι αυτά βρίσκονται αρκετά κοντά.



Οι γεωδειακές ορίζουν τις διαδρομές κίνησης στον καμπύλο χωρόχρονο (S) της γενικής σχετικότητας. Αν τα A και B είναι δύο σημεία αρκετά κοντά το ένα στο άλλο πάνω σε μια γεωδειακή g, σε μια επιφάνεια S, τότε όλες οι γειτονικές γραμμές που ενώνουν τα A και B έχουν μεγαλύτερο μήκος από τη γεωδειακή μεταξύ A και B. Στη γενική σχετικότητα, η ελλειπτική τροχιά της Γης περί τον Ήλιο ερμηνεύεται ότι οφείλεται σε γεωδειακή κίνηση στο χωρόχρονο που καμπυλώνεται από τη μάζα του Ήλιου.

ΜΑΥΡΕΣ ΤΡΥΠΕΣ

Μια «μαύρη τρύπα» είναι πραγματικά ένα από τα πιο μυστηριώδη ουράνια αντικείμενα, στο εσωτερικό των οποίων οι νόμοι της Φυσικής δεν έχουν καμιά υπόσταση.

Οι «μαύρες τρύπες» δημιουργούνται όταν άστρα με υλικά πολλαπλάσια της ύλης που έχει ο Ήλιος φτάσουν στο τέλος της ζωής τους και αναγκαστούν να καταρρεύσουν και να εκραγούν.

Η έκρηξη αυτή, που ονομάζεται «σουπερνόβα», είναι ένα από τα πιο βίαια φαινόμενα στο Σύμπαν, με αποτέλεσμα την αστραπιαία κατάρρευση του άστρου και τη δημιουργία μιας «μαύρης τρύπας».

Πρόκειται για ένα «αντικείμενο» που προβλέπεται από τη Θεωρία της Βαρύτητας του Άλμπερτ Αϊνστάιν, σύμφωνα με την οποία κάθε άστρο ή πλανήτης, καθετί το υλικό στο Σύμπαν, δημιουργεί μια παραμόρφωση στον χωρόχρονο γύρω του. Η παραμόρφωση, μάλιστα, αυτή είναι ανάλογη με την ποσότητα των υλικών που περιλαμβάνει.

Στα γιγάντια άστρα η κατάρρευση συνεχίζεται ακάθεκτη έως ότου το άστρο περιοριστεί σ' ένα «ιδιόμορφο χωροχρονικό σημείο» που ονομάζεται «μοναδικότητα».

Σύμφωνα, δηλαδή, με τις εξισώσεις της Γενικής Σχετικότητας, στο «ιδιόμορφο» αυτό σημείο η πυκνότητα είναι άπειρη, ο χώρος έχει άπειρη καμπυλότητα και ο χρόνος «σταματά» να υπάρχει.

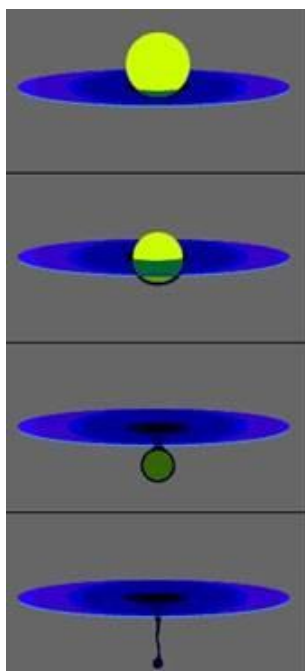
Η δύναμη της βαρύτητας μιας «μαύρης τρύπας», δηλαδή, παραμορφώνει τον χωρόχρονο γύρω της σε τέτοιο βαθμό, ώστε ούτε κι αυτό ακόμη το φως να μην μπορεί να διαφύγει από την ελκτική της δύναμη.

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΜΑΥΡΕΣ ΤΡΥΠΕΣ

Μία "μαύρη τρύπα" είναι το σημείο εκείνο του διαστήματος, όπου κάποτε υπήρχε ο 'πυρήνας ενός γιγάντιου άστρου', ένας πυρήνας που περιείχε περισσότερα υλικά από δύομισι ηλιακές μάζες και ο οποίος στην τελική φάση της εξέλιξης του άστρου έχασε

την πάλη του ενάντια στη βαρύτητα, με αποτέλεσμα τα υλικά του να καταρρεύσουν και να συμπιεστούν περισσότερο ακόμη και από τα υλικά ενός άστρου-νετρονίων. Συγκεκριμένα, όταν η διάμετρος του συρρικνωμένου άστρου γίνει μικρότερη από ένα όριο που ονομάζεται «ορίζοντας γεγονότων», το άστρο εξαφανίζεται πρακτικά από το γνωστό Σύμπαν (που περιγράφεται από τους γνωστούς φυσικούς νόμους) δημιουργώντας μια μαθηματική «ανωμαλία» με θεωρητικά άπειρη πυκνότητα-μια μαύρη τρύπα.

Αν μπορούσαμε να συμπιέσουμε τη Γη μας ολόκληρη στο μέγεθος ενός κερασιού, θα την είχαμε μετατρέψει σε μία "μαύρη τρύπα". Φυσικά, δεν υπάρχει καμία γνωστή διαδικασία που θα μπορούσε να μετατρέψει τη Γη, ή και τον Ήλιο ακόμη, σε "μαύρη τρύπα".



Το βαρυτικό πεδίο μιας μαύρης τρύπας είναι τόσο δυνατό, ώστε η ταχύτητα διαφυγής κοντά του ξεπερνά την ταχύτητα του φωτός. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι τίποτα, ούτε καν το φως, δεν μπορεί να ξεφύγει από τη βαρύτητα της μαύρης τρύπας, εξ' ου και η λέξη «μαύρη».

Ο άνθρωπος που ονόμασε αυτό το φαινόμενο «μαύρη τρύπα» ήταν ο φυσικός John Wheeler. Ο ίδιος διατύπωσε και τον περίφημο αφορισμό «οι μαύρες τρύπες δεν έχουν μαλλιά», υπονοώντας την εκπληκτική απλότητα μιας στατικής μαύρης τρύπας, που χαρακτηρίζεται πλήρως από μερικούς απλούς αριθμούς, όπως η μάζα, η στροφορμή και το ηλεκτρικό φορτίο της.

ΔΟΜΗ ΜΑΥΡΩΝ ΤΡΥΠΩΝ

Σε μια κλασσική μαύρη τρύπα διακρίνουμε:

- **Την ιδιομορφία ή ανωμαλία της μαύρης τρύπας:**

το κέντρο μιας μαύρης τρύπας στην οποία πέφτει η ύλη. Έχει άπειρη πυκνότητα όπως είναι και η ισχύς του βαρυτικού πεδίου, ενώ ο χωροχρόνος γύρω της είναι έντονα στρεβλωμένος γιατί η ακτίνα της πλησιάζει το μηδέν.

- **Τον ορίζοντα γεγονότων:**

το όριο μιας μαύρης τρύπας από όπου τίποτα ούτε και το φως δεν μπορεί να ξεφύγει γιατί η ταχύτητα διαφυγής της ύλης σε αυτό το χώρο είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός.

- **Τη σφαίρα φωτονίων:**

το φως μπορεί να ξεφύγει από εκεί αν έχει την κατάλληλη κατεύθυνση προς τα έξω. Είναι μια σφαιρική περιοχή του χώρου λίγο πιο έξω από τον ορίζοντα γεγονότων και την εργόσφαιρα (μια ελλειψοειδής περιοχή γύρω από τη μαύρη τρύπα), όπου η βαρύτητα είναι τόσο ισχυρή που τα φωτόνια αναγκάζονται να κινούνται σε τροχιές.

- **Τον δίσκο συσσώρευσης:**

ένας δίσκος γύρω από μια μαύρη τρύπα όπου υπέρθερμο αέριο στροβιλίζεται με ταχύτητες πολύ κοντά στην ταχύτητα του φωτός, μέχρι να πέσει μέσα της.



ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΑΥΡΩΝ ΟΠΩΝ

Όπως γνωρίζουμε μια μαύρη τρύπα γεννιέται όταν καταρρέει ένα άστρο. Η **μάζα** της τη στιγμή της δημιουργίας πρέπει να είναι ίση με εκείνη του άστρου και κάθε φορά που πέφτει κάτι μέσα της πρέπει να αυξάνεται. Επιπλέον, εάν το άστρο περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό του καθώς καταρρέει, θα πρέπει και νεογέννητη τρύπα να περιστρέφεται. Η **στροφορμή** της πρέπει να είναι ίδια με εκείνη του άστρου.

Ιδιότητες Μαύρων τρυπών: Μάζα – Φορτίο – Στροφορμή

Όσον αφορά το **φορτίο** της μαύρης τρύπας πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι δεν μπορεί να είναι μεγάλο.

Αν συνέβαινε κάτι τέτοιο, η μαύρη τρύπα θα είλκυε προς το μέρος της αντίθετα φορτία από το μεσοαστρικό αέριο και έτσι θα εξουδετερωνόταν το ίδιο της το φορτίο.

Γνωρίζοντας την **μάζα** και τη **στροφορμή** και ότι το **φορτίο** της μαύρης τρύπας δεν μπορεί να είναι μεγάλο μπορούμε μέσω των τύπων της γενικής σχετικότητας να υπολογίσουμε τα χαρακτηριστικά της: την ένταση της βαρυτικής έλξης της, την εκτροπή που προκαλεί στις τροχιές του αστρικού φωτός, καθώς και το σχήμα και το μέγεθος του ορίζοντα γεγονότων της.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το 1900, ο Lorentz υποστηρίζει ότι η δύναμη της βαρύτητας δε μεταδίδεται ακαριαία (Νευτώνεια θεωρία) αλλά με την ταχύτητα του φωτός.

Το 1905, ο Poincaré προτείνει την ύπαρξη βαρυτικών κυμάτων.

Το 1915, ο Einstein περιγράφει τη βαρύτητα ως μια καμπύλωση του 4-διάστατου χωροχρόνου. Οι φυσικές αποστάσεις μετρώνται με τη βοήθεια ενός μετρικού τανυστή. Οι εξισώσεις του περιγράφουν τη διάδοση της βαρύτητας ως κύμα, με ταχύτητα ίση με αυτή του φωτός στο κενό.

Η μεγάλη επανάσταση που έφερε η Γενική Σχετικότητα του Αϊνστάιν είναι ότι περιέγραψε τη δύναμη της βαρύτητας ως παραμόρφωση του χώρου και του χρόνου.

Το 1916, ένα χρόνο μετά τη δημοσίευση της θεωρίας της Γενικής Σχετικότητας, ο Αϊνστάιν προέβλεψε ότι τα αντικείμενα μεγάλης μάζας που κινούνται επιταχυνόμενα παράγουν κυματισμούς στον χωροχρόνο που διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις με την ταχύτητα του φωτός.

Τα κύματα αυτά ονομάστηκαν βαρυτικά επειδή παραμορφώνουν το «σεντόνι» του χωροχρόνου όπως η βαρύτητα.

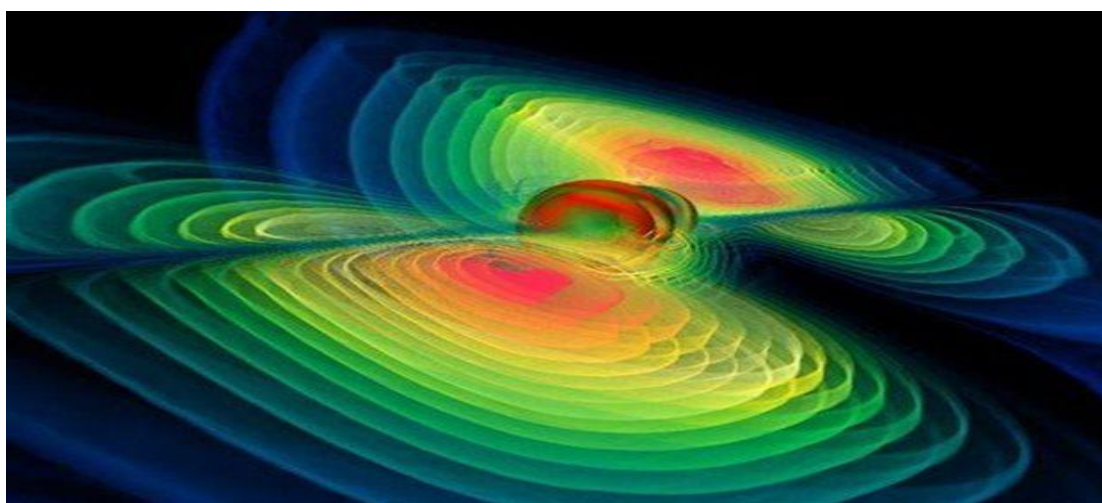
Μέχρι τώρα, οι αποδείξεις ύπαρξής τους στηρίζονταν σε έμμεσα αποτελέσματα όπως από εκφυλισμό της τροχιάς κάποιου διαστρικού συστήματος.

Η πρώτη ανακοίνωση ανίχνευσης βαρυτικών κυμάτων είχε γίνει το 1969, αλλά αποδείχτηκε λανθασμένη. Δύο δημοσιεύσεις, το 1969 και το 1970 ισχυρίζονταν πως είχαν βρει τις πρώτες ενδείξεις ύπαρξης βαρυτικών κυμάτων, που μάλιστα προέρχονταν από το κέντρο του γαλαξία μας. Όλες οι εργασίες όμως του Joseph Weber δεν επιβεβαιώθηκαν από την επιστημονική κοινότητα. Οι ιδέες του όμως αποτέλεσαν πηγή έμπνευσης για αρκετούς ερευνητές. Το 2014 έγινε μία ανάλογη ανακοίνωση από μια άλλη ερευνητική κοινοπραξία που όμως δεν είχε καλύτερη τύχη από αυτήν του Weber.



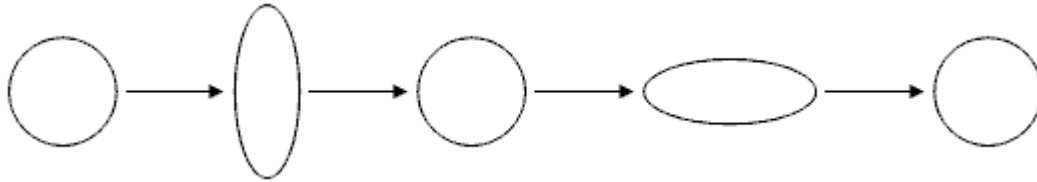
Και φτάνουμε στην 11^η Φεβρουαρίου όπου από την σύγκρουση δύο μαύρων τρυπών, οι ερευνητές του πειράματος LIGO κατάφεραν να ανιχνεύσουν τα βαρυτικά κύματα που παρήχθησαν. Αυτό, αποδεικνύει ακριβώς αυτό που είχε προβλέψει η θεωρία του Αϊνστάιν. Μέσα στην Γενική Θεωρία της Σχετικότητας είχε ισχυριστεί την ύπαρξη βαρυτικών κυμάτων, που μάλιστα μπορούν να παραχθούν από σύγκρουση μαύρων τρυπών!

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΒΑΡΥΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ



Οι κυματισμοί του χωροχρόνου μπορούν να προκαλέσουν κυματισμούς του χωροχρόνου κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να έχουμε ένα βαρυτικό κύμα που να διαδίδεται μέσω του χώρου. Κατά συνέπεια εάν πάρουμε μια βαριά μάζα και την κουνήσουμε πέρα δώθε με αρκετή δύναμη θα προκαλέσουμε έναν χωροχρονικό κυματισμό, που θα ακτινοβοληθεί προς τα έξω. Με τι όμως θα μοιάζει ένας τέτοιος κυματισμός; Πέστε ότι κρατάμε ένα σφαιρικό αντικείμενο τη στιγμή που ένα κύμα βαρύτητας περνάει από εκεί που είμαστε.

Τότε ο χώρος γύρω μας θα τέντωνε διαδοχικά προς δύο διαφορετικές κατευθύνσεις, αναγκάζοντας τη σφαίρα να επιμηκυνθεί πρώτα κατά μήκος του ενός άξονα και έπειτα του άλλου.



Η επίδραση ενός κύματος βαρύτητας που περνά μέσω ενός κυκλικού αντικειμένου.

Μια τέτοια επίδραση θα μπορούσε να ανιχνευθεί σε γενικές γραμμές με τη μέτρηση του χρόνου που χρειάζεται μια ακτίνα φωτός να ταξιδέψει από μια πλευρά της σφαίρας προς την άλλη σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Με την παρουσία ενός κύματος βαρύτητας, οι σχετικοί χρόνοι στις δύο κατευθύνσεις θα ταλαντεύονταν.

Τα βαρυτικά κύματα, σύμφωνα με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, παράγονται από μεταβολές των βαρυτικών πεδίων ή από επιταχύνσεις μαζών.

Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες προβλέψεις της θεωρίας της Σχετικότητας ήταν ότι όποτε συγκρούονται εξαιρετικά συμπυκνωμένα κοσμικά αντικείμενα, όπως είναι π.χ. οι μαύρες τρύπες, τότε παράγονται πτυχώσεις ή «ρυτιδώσεις» στον χωρόχρονο («ripples in space-time»).

Αυτό συμβαίνει επειδή, σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας, ο χωρόχρονος είναι μια δυναμική οντότητα, η οποία μπορεί να παραμορφώνεται ανάλογα με τα πυκνώματα ή τα αραιώματα της ύλης-ενέργειας που υπάρχει μέσα σε αυτόν.

Όπως ακριβώς υπάρχουν τα γνωστά σε όλους κύματα φωτός, έτσι, κατά τον Αϊνστάιν, πρέπει να υπάρχουν και «βαρυτικά κύματα», τα οποία παράγονται όταν μεγάλα υπέρπυκνα αστέρια καταρρέουν (επειδή εξαντλούν τα ενεργειακά τους αποθέματα) και μετατρέπονται σε μαύρες τρύπες, ή πάλι όταν δύο μαύρες τρύπες συγκρούονται και συγχωνεύονται για να προκύψει μία μεγαλύτερη.

Τα βαρυτικά κύματα θα πρέπει λοιπόν να παράγονται σε τέτοιες ακραίες, αλλά όχι ασυνήθιστες, περιπτώσεις. Επιπλέον, η Γενική Σχετικότητα προέβλεπε ότι τα βαρυτικά κύματα πρέπει να διαδίδονται μακριά από τις πηγές γένεσής τους ως

περιοδικές συμπίεσεις και τεντώματα του κοσμικού ιστού που συνιστά τον χωρόχρονο.

Με άλλα λόγια, τα βαρυτικά κύματα μπορούν να εξαπλώνονται παντού ως «ρυτιδώσεις» του χωροχρόνου, μεταφέροντας στα πέρατα του κόσμου την ενέργεια των βίαιων συμβάντων που τα προκάλεσε.

Ο τρόπος παραγωγής τους είναι αντίστοιχος με αυτό των ηλεκτρομαγνητικών (ΗΜ) κυμάτων τα οποία παράγονται από μεταβολές ΗΜ πεδίων και επιταχύνσεις φορτίων. Η ασύμμετρη μεταβολή κάθε βαρυτικού πεδίου θα παράγει βαρυτικά κύματα που συνήθως είναι πολύ ασθενή και δεν προκαλούν παρατηρήσιμα φαινόμενα. Μόνο μεταβολές εξαιρετικά ισχυρών βαρυτικών πεδίων είναι σε θέση να παράγουν ανιχνεύσιμα βαρυτικά κύματα. Τέτοια ισχυρά μεταβαλλόμενα βαρυτικά πεδία συναντώνται κατά τη διάρκεια της δημιουργίας μελανών οπών και αστέρων νετρονίων από τη βαρυτική κατάρρευση του πυρήνα υπερμεγέθων αστέρων που παρατηρούνται ως εκρήξεις υπερκαινοφανών.

Συγκρούσεις αστέρων νετρονίων και μελανών οπών αλλά και το πολύ πρώιμο Σύμπαν αποτελούν ισχυρές πηγές βαρυτικών κυμάτων. Για παράδειγμα, η εκπεμπόμενη ενέργεια με τη μορφή βαρυτικών κυμάτων κατά την έκρηξη ενός υπερκαινοφανούς αστέρα είναι ίση ή περισσότερη από τη φωτεινή ενέργεια που θα εκπέμψει ο ήλιος μας καθόλη τη διάρκεια της ζωής του. Τα εκλυόμενα τρομακτικά ποσά ενέργειας παραμένουν «αόρατα», γιατί τα βαρυτικά κύματα αλληλεπιδρούν ελάχιστα με την ύλη.

Τα βαρυτικά κύματα, είναι κύματα που μεταφέρουν ενέργεια με τη μορφή βαρυτικής ακτινοβολίας. Βασικό στοιχείο είναι οι διαταράξεις της καμπυλότητας του χωροχρονικού συνεχούς που εκφράζονται μέσω βαρυτικών κυμάτων.

Τα βαρυτικά κύματα εξαπλώνονται στο σύμπαν ως ομόκεντροι κύκλοι από μια κατακλυστική πηγή-αφετηρία (ένα ακραίο συμβάν όπως εκρήξεις ή συγκρούσεις άστρων ή μαύρων τρυπών), «συμπιέζοντας» και «τεντώνοντας» τον ιστό του χωροχρόνου.

Ένας πλανήτης τώρα, αποκτά τροχιά γύρω από την μαύρη τρύπα, αναπτύσσοντας ολοένα και μεγαλύτερη ταχύτητα, προσεγγίζοντας την και εν τέλει «πέφτοντας» μέσα

ΣΦΥΡΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

της. Όταν συμβαίνει αυτό, η μαύρη τρύπα ξεκινάει μια ταλάντωση. Σαν να βγαίνει από την ηρεμία της.

Από αυτήν την διαδικασία, παράγονται βαρυτικά κύματα τα οποία ταξιδεύουν προς πάσα κατεύθυνση στο σύμπαν. Αυτά τα κύματα ανίχνευσαν οι ερευνητές του LIGO.

Η πηγή των βαρυτικών κυμάτων είναι μη-αξονικά συμμετρικές χρονικές μεταβολές της μάζας (dm, τουλάχιστον τετραπολικές).

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΒΑΡΥΤΙΚΩΝ/ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Τα βαρυτικά κύματα έχουν αρκετές διαφορές σε σχέση με τα ηλεκτρομαγνητικά.

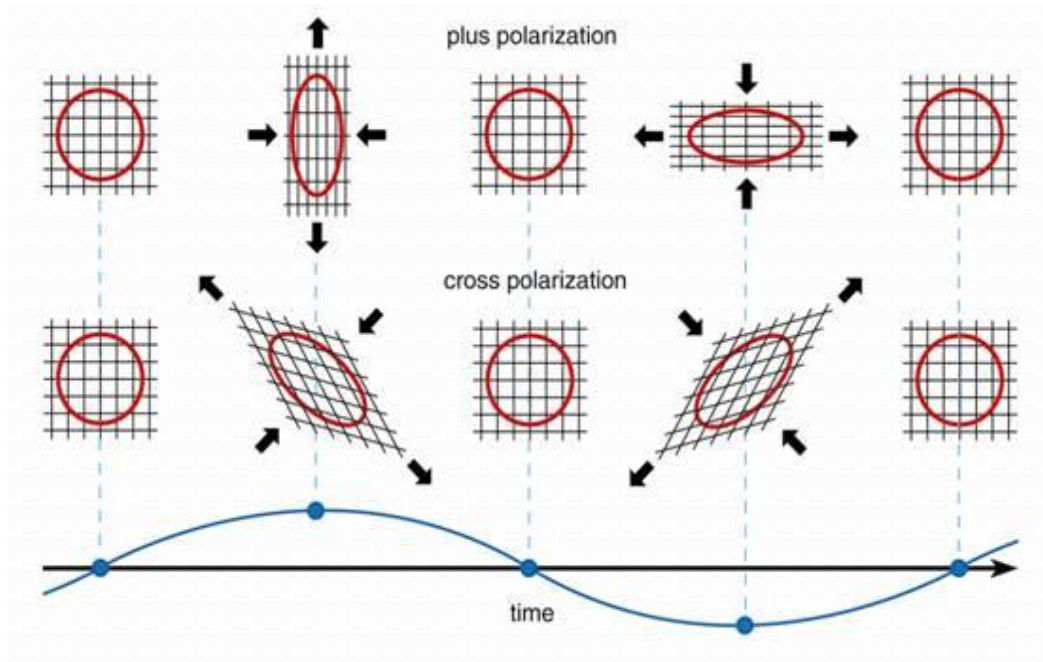
Οι κυριότερες ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι:

- ✓ Τουλάχιστον διπολικά
- ✓ Δημιουργούνται από +/- φορτία
- ✓ Ισχυρή αλληλεπίδραση με την ύλη
- ✓ Γραμμική/κυκλική πόλωση
- ✓ Μπορεί να έχουν μήκος κύματος μικρότερο από τις διαστάσεις της πηγής

Οι κυριότερες ιδιότητες των βαρυτικών κυμάτων είναι:

- ✓ Τουλάχιστον τετραπολικά
- ✓ Δημιουργούνται από + μάζες
- ✓ Ασθενής αλληλεπίδραση με την ύλη
- ✓ Πόλωση + / x
- ✓ Έχουν μήκος κύματος πολύ μεγαλύτερο από τις διαστάσεις της πηγής

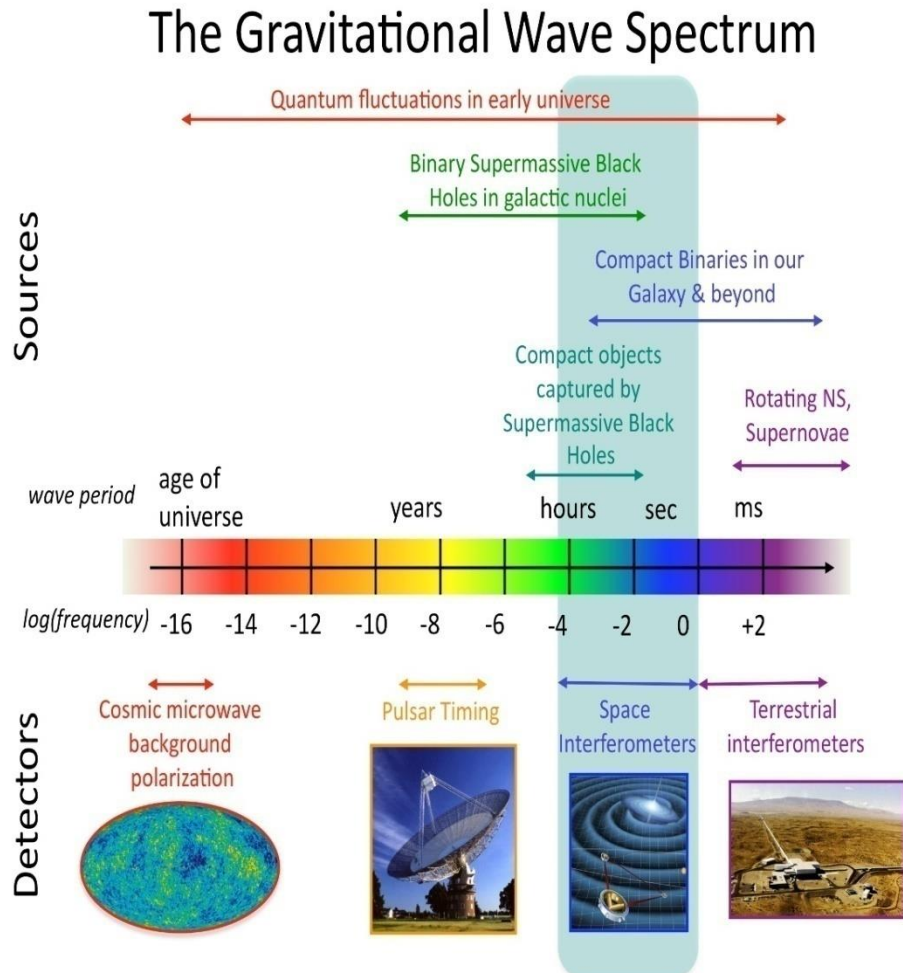
- ✓ Τα βαρυτικά κύματα είναι εγκάρσια και έχουν δύο ειδών πολώσεις:



Τα περισσότερα από όσα γνωρίζουμε για τον Κόσμο προέρχεται από παρατηρήσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας –το ορατό και αόρατο φως που φτάνει σε τηλεσκόπια και ραδιοτηλεσκόπια. Το πρόβλημα είναι ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπλοκάρεται από σύννεφα σκόνης ή άλλα αντικείμενα που βρίσκονται ανάμεσα στην πηγή της ακτινοβολίας και τον παρατηρητή. Αυτό δεν ισχύει για τα βαρυτικά κύματα, τα οποία διαδίδονται στην ίδια την υφή του Σύμπαντος, διαπερνώντας ανενόχλητα ολόκληρους γαλαξίες.

ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΩΝ ΒΑΡΥΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Όπως τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έτσι και τα βαρυτικά κύματα διαθέτουν φάσμα συχνοτήτων (ή μηκών κύματος). Κάθε «χρώμα» αποκαλύπτει διάφορα κοσμικά γεγονότα

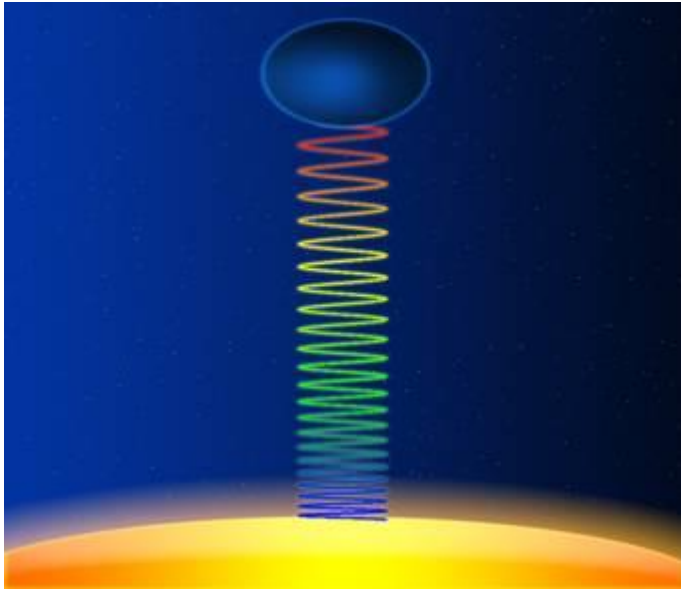


ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΡΥΘΡΟ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Το πείραμα αυτό έγινε το 1959 στο Πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ με επιτυχία, και αποτέλεσε και την πρώτη μέτρηση υψηλής ακρίβειας των αποτελεσμάτων της Γενικής Σχετικότητας.

ΣΦΥΡΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Σύμφωνα με τη Γενική θεωρία της Σχετικότητας, το μήκος κύματος του φωτός ή μιας Η/Μ ακτινοβολίας, που περνά μέσα από ένα ισχυρό βαρυτικό πεδίο μετατοπίζεται προς την ερυθρή περιοχή του φάσματος. Τα φωτόνια προσπαθώντας να ξεφύγουν από το βαρυτικό πεδίο, χάνουν ενέργεια. Συνεπώς, θα πρέπει η συχνότητα τους να μειώνεται ή ισοδύναμα το μήκος τους λ να αυξάνεται. Έγιναν πολλά τέτοια πειράματα.



Η βαρυτική ερυθρή μετατόπιση του φωτός καθώς κινείται προς τα πάνω σε ένα βαρυτικό πεδίο (που προκλήθηκε από το κίτρινο αστέρι στη συνέχεια).

ΒΑΡΥΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΛΗΘΩΡΙΣΜΟΣ

Στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας το 1915 ο Αϊνστάιν περιέγραψε τη βαρύτητα ως τη παραμόρφωση που προκαλεί η παρουσία της ύλης στην δομή του τετραδιάστατου χωροχρόνου. Οποιοδήποτε μικρό ή μεγάλο κομμάτι ύλης, είτε άτομο είναι αυτό, είτε πλανήτη, είτε άστρο, είτε γαλαξίας, μπορεί και παραμορφώνει την δομή του χωροχρόνου. Καθώς τα διάφορα αντικείμενα κινούνται μέσα στο Σύμπαν είναι σαν να κυλάνε μέσα, έξω, και γύρω απ' αυτές τις χωροχρονικές παραμορφώσεις, και η κίνηση τους επηρεάζεται από τις παραμορφώσεις αυτές που δεν μπορούμε να δούμε. Αντίθετα, εκείνο το οποίο βλέπουμε είναι το αποτέλεσμα που έχει στα διάφορα αυτά αντικείμενα η επίδραση της φαινομενικά μυστηριώδους δύναμης που ονομάζουμε βαρύτητα, με άλλα λόγια «η ύλη λέει στο χωροχρόνο πώς θα καμπυλωθεί και ο βαθμός καμπύλωσης του χωροχρόνου υπαγορεύει στην ύλη πώς θα κινηθεί».

Στη Γενική Σχετικότητα, λοιπόν, η μετακίνηση αντικειμένων με τεράστιες μάζες εκπέμπουν βαρυτική ακτινοβολία με την μορφή βαρυτικών κυμάτων. Επειδή όμως η Βαρύτητα είναι η πιο αδύναμη από τις θεμελιώδεις δυνάμεις η επίδραση των βαρυτικών κυμάτων είναι εξ ίσου αδύναμη οπότε μέχρι τώρα δεν είχε επιτευχθεί ο εντοπισμός τους. Στις 17 Μαρτίου, όμως, μία ερευνητική ομάδα του Κέντρου Αστροφυσικής Σμιθσόνιαν του Χάρβαρντ, με επικεφαλής τον John Kovac, ανακοίνωσε τον εντοπισμό βαρυτικών κυμάτων, που καταγράφηκαν με την μορφή ρυτιδώσεων στο χωροχρόνο, και τα οποία προέρχονται από τις πρώτες απειροελάχιστες στιγμές της γέννησης του Σύμπαντος πριν από 13,82 δισεκατομμύρια χρόνια. Το πρώιμο αυτό πορτρέτο του νεογέννητου Σύμπαντος αποδεικνύει επίσης την ύπαρξη μιας περιόδου εξαιρετικά γρήγορης διαστολής του Σύμπαντος στον χρόνο 10^{-35} που στη θεωρία ονομάστηκε «Πληθωρισμός», ενώ φαίνεται ότι συνδέει επίσης και την Γενική Σχετικότητα με την Κβαντική Μηχανική!

Παρ' όλο που τα βαρυτικά κύματα δεν είχαν ανιχνευτεί μέχρι τώρα υπήρχαν ισχυρές ενδείξεις για την ύπαρξή τους σε σχέση με την ανακάλυψη το 1974 ενός συστήματος δύο πάλσαρ από τους αμερικανούς αστροφυσικούς Russel Hulse και Joseph Taylor, οι οποίοι για την ανακάλυψή τους αυτή τιμήθηκαν το 1993 με το Νόμπελ Φυσικής. Ως γνωστόν τα πάλσαρ είναι ταχύτατα περιστρεφόμενα άστρα νετρονίων με πανίσχυρα μαγνητικά πεδία, τα οποία εκπέμπουν ακτινοβολίες όπως ένας φάρος. Αυτό το αστρικό σύστημα των Hulse-Taylor, βοήθησε στον έλεγχο ορισμένων

προβλέψεων της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας, γιατί καθώς τα δύο άστρα νετρονίων στροβιλίζονται όλο και πλησιέστερα το ένα με το άλλο, υπολογίζεται ότι τελικά θα συγκρουστούν σε περίπου 300 εκατομμύρια χρόνια αφού σύμφωνα με τη Γενική Σχετικότητα όταν ένα τέτοιο διπλό αστρικό σύστημα εκπέμπει βαρυτικά κύματα η περίοδος της τροχιάς του μειώνεται. Αν και οι μεταβολές αυτές είναι ελάχιστες, εντούτοις αντιστοιχούν με μεγάλη ακρίβεια στις τιμές που προβλέπει η Γενική Σχετικότητα, γεγονός που αποτελεί μια έμμεση έστω ένδειξη ότι τα βαρυτικά κύματα που προέβλεψε ο Αϊνστάιν υπάρχουν.



Διάφορες ερευνητικές ομάδες είχαν αρχίσει παρόμοιες επίγειες και διαστημικές έρευνες για τον εντοπισμό των βαρυτικών κυμάτων εδώ και αρκετά χρόνια. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται τρεις που βρίσκονται στο Νότιο Πόλο, τρεις άλλες που βρίσκονται στη Χιλή, μία στα Κανάρια Νησιά, δύο χρησιμοποιούν μπαλόνια για τις έρευνές τους και μία χρησιμοποιεί την διαστημοσυσκευή «Πλανκ». Η μία από τις τρεις ομάδες του Νότιου Πόλου ήταν αυτή που κατόρθωσε, ύστερα από παρατηρήσεις εννέα ετών, να καταγράψει επί τέλους, με την βοήθεια ενός τηλεσκοπίου παρατήρησης μικροκυμάτων, τις αρχέγονες εκείνες ρυτιδώσεις των πρώτων βαρυτικών κυμάτων. Η ερευνητική αυτή ομάδα ανήκει στο Κέντρο Αστροφυσικής Σμιθσόνιαν του Χάρβαρντ, ενώ τα βαρυτικά κύματα που εντόπισε

προέρχονται από τις πρώτες απειροελάχιστες στιγμές της γέννησης του Σύμπαντος πριν από 13,82 δισεκατομμύρια χρόνια. Το πρώιμο αυτό πορτρέτο του νεογέννητου Σύμπαντος αποδεικνύει, εκτός από την εμφανή απόδειξη της ύπαρξης των βαρυτικών κυμάτων, και την ύπαρξη μιας περιόδου εκθετικής διαστολής του Σύμπαντος στον χρόνο 10^{-35} του πρώτου δευτερολέπτου όπως προβλέπουν από το 1980 διάφορες θεωρίες.

Όλα αυτά σημαίνουν ότι το Σύμπαν την απειροελάχιστη εκείνη στιγμή του ενός τρισεκατομμυριοστού του τρισεκατομμυριοστού του τρισεκατομμυριοστού του πρώτου δευτερολέπτου υπέστη πάνω από 100 διπλασιασμούς! Γι' αυτό άλλωστε και η εξαιρετικά γρήγορη αυτή διαστολή του Σύμπαντος ονομάστηκε «Πληθωρισμός» στη διάρκεια του οποίου το Σύμπαν μεγεθύνθηκε 100 τρισεκατομμύρια-τρισεκατομμυρίων-τρισεκατομμύρια-τρισεκατομμυρίων (10^{50}) φορές! Κι ενώ πριν από την πληθωριστική διαστολή το ορατό σήμερα Σύμπαν είχε μέγεθος 3×10^{-25} εκατοστά (το γινόμενο της ηλικίας του επί την ταχύτητα του φωτός), μετά τον πληθωρισμό το μέγεθός του ήταν συγκριτικά τεράστιο. Εμφανώς λοιπόν η διαστολή αυτή έγινε με μία ταχύτητα πολλαπλάσια της ταχύτητας του φωτός γιατί απλούστατα η τεράστια αυτή διαστολή αφορούσε τον χώρο και όχι κάτι το υλικό. Και ενώ τίποτα το υλικό δεν μπορεί να υπερβεί την ταχύτητα του φωτός εντούτοις αυτό δεν ευσταθεί στην περίπτωση του χώρου ο οποίος μπορεί να διασταλεί (να «ξεχειλώσει» δηλαδή) με απεριόριστη ταχύτητα.

Σύμφωνα δηλαδή με τις σύγχρονες μελέτες της φυσικής η ύπαρξη καταστάσεων ιδιαίτερα μεγάλης πυκνότητας (όπως ήταν οι πρώτες στιγμές της γέννησης του Σύμπαντος) μπορεί να οδηγήσει σε μια κατάσταση της ύλης που την αναγκάζει από ελκτική να γίνει απωθητική δημιουργώντας έτσι μια κατάσταση «αντιβαρύτητας». Σ' αυτήν την κατάσταση, η ενεργειακή πυκνότητα παρέμεινε σταθερή αλλά ο άδειος χώρος απέκτησε μια «παράξενη» απωθητική δύναμη, μία τεράστια «πίεση», που εκτίναξε το Σύμπαν με τέτοια ορμή ώστε μέσα σε μια στιγμή ο όγκος του μεγεθύνθηκε κατά τρισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων φορές. Στον χρόνο 10^{-32} του πρώτου δευτερολέπτου, όμως, η πληθωριστική διαστολή για κάποιον λόγο σταμάτησε απελευθερώνοντας συγχρόνως τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Έτσι με την απελευθέρωση της τεράστιας εκείνης ενέργειας δημιουργήθηκε μια τεράστια ποσότητα ύλης. Η αρχική δηλαδή ενέργεια η οποία ισοδυναμούσε με ένα κιλό ύλης έφτασε μετά τον Πληθωρισμό την συνολική μάζα των 10^{78} βαρυονίων.

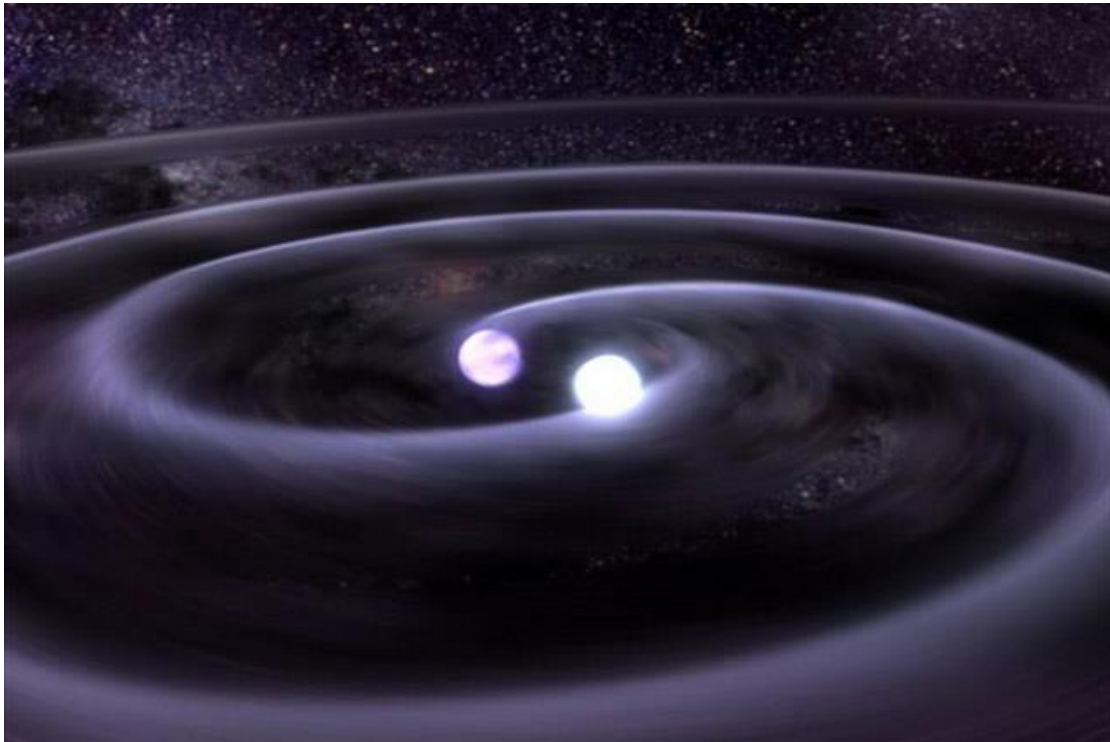
Δημιουργήθηκαν δηλαδή υλικά 10^{50} τόνων! Και τα σωματίδια που δημιουργήθηκαν τότε είναι αυτά που με την σειρά τους δημιούργησαν όλα όσα βλέπουμε να περιλαμβάνει σήμερα το Σύμπαν: γαλαξίες, άστρα, πλανήτες και ανθρώπους.

Το μοντέλο της «Πληθωριστικής Εξέλιξης» του Σύμπαντος φαίνεται ότι επιβεβαιώνεται από την ανάλυση των παρατηρήσεων που μας έστειλε το 2006 η διαστημοσυσκευή WMAP, αλλά βασίζεται επίσης και στις σύγχρονες μελέτες της φυσικής των σωματιδίων. Η θεωρία του Πληθωρισμού, πάντως, η οποία διατυπώθηκε για πρώτη φορά από τον Άλαν Γκουθ το 1980, έχει σήμερα πολλές και διάφορες εκφράσεις (νέος πληθωρισμός, ανοιχτός πληθωρισμός, χαοτικός πληθωρισμός, κλπ.) που διατυπώθηκαν κατά καιρούς από διάφορους ερευνητές (Αντρέι Λίντε, Αντρέας Άλμπρεχτ, Πωλ Στάϊνχαρντ, Ρίτσαρντ Γκοτ, Λι-ξιν Λι, κ.ά.). Σύμφωνα, λοιπόν, με ορισμένες εκτιμήσεις η Πληθωριστική διαστολή του Σύμπαντος ίσως να μην έγινε παντού με τον ίδιο τρόπο. Αυτό που υποστηρίζει δηλαδή ένα από τα μοντέλα του Πληθωριστικού Σύμπαντος είναι ότι εκείνη την απόμακρη εποχή, το Σύμπαν αποτελούνταν από 10^{78} έως 10^{150} περιοχές που δεν σχετίζονταν μεταξύ τους και κάθε μία από τις οποίες είχε μέγεθος 10^{-27} του εκατοστού!

Απ' όλες, όμως, αυτές τις τρισεκατομμύρια των τρισεκατομμυρίων περιοχές που αποτελούσαν το Σύμπαν την πρώτη εκείνη απειροελάχιστη στιγμή, μία μόνο μας ενδιαφέρει άμεσα: αυτή η οποία με την Πληθωριστική της διαστολή δημιούργησε το ορατό σ' εμάς σημερινό Σύμπαν. Έτσι το σύγχρονο αυτό μοντέλο της εξέλιξης του Σύμπαντος μας λέει ότι αυτή τη στιγμή ίσως να υπάρχουν από 10^{78} έως 10^{150} παράλληλα με το δικό μας Σύμπαντα τα όποια είναι αδύνατον να παρατηρηθούν πλέον από εμάς ή να τα επηρεάσουμε ή και να μας επηρεάσουν καθ' οιονδήποτε τρόπο. Οπότε είμαστε αναγκασμένοι στο εξής να παρακολουθήσουμε την εξέλιξη του μοναδικού ορατού σ' εμάς Σύμπαντος που προήλθε από την Μεγάλη Έκρηξη.

Είναι επόμενο ότι η Μεγάλη Έκρηξη των κοσμολόγων δεν έχει καμιά σχέση με τις εκρήξεις που γνωρίζει ο καθένας από εμάς, είτε είναι βαρελότα είτε βόμβες υδρογόνου. Ο όρος μάλιστα Μεγάλη Έκρηξη είναι μάλλον παραπλανητικός και καθιερώθηκε από τον καθηγητή Φρεντ Χούλ που ήταν ο κύριος πολέμιος της όλης αυτής θεωρίας για τη γέννηση του Σύμπαντος. Με τον όρο, λοιπόν, «Μεγάλη Έκρηξη» οι σύγχρονοι επιστήμονες εννοούν μια εκθετική και απότομη διαστολή του Σύμπαντος από ένα απειροελάχιστο σημείο «ανυπαρξίας». Η γέννηση δηλαδή και η μετέπειτα εξέλιξη του Σύμπαντος είναι κατά κάποιον τρόπο το «ξεδίπλωμα» του

χρόνου και του χώρου από μια κατάσταση υπερβολικής πυκνότητας και θερμότητας σε μια παγωμένη και τεράστια σε μέγεθος σημερινή ύπαρξη, σε έναν χώρο ο οποίος δημιουργείται καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται. Σ' ένα Σύμπαν όπου σήμερα όλοι οι μακρινοί γαλαξίες φαίνονται να απομακρύνονται συνεχώς ο ένας από τον άλλο.



Οι γαλαξίες φυσικά δεν απομακρύνονται μέσα σ' ένα άπειρο και αδειανό χώρο, αλλά αντίθετα η διαστολή αυτή του Σύμπαντος οφείλεται στο «ξεχειλώμα» του ίδιου αυτού χώρου που συμπαρασύρει μαζί του και τους γαλαξίες, ενώ η «έκρηξη» έγινε συγχρόνως σ' όλα τα σημεία του με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σήμερα κάποιο συγκεκριμένο κέντρο στο Σύμπαν αφού το κέντρο βρίσκεται «παντού». Το τι σημαίνει αυτό είναι ότι δεν είναι οι γαλαξίες αυτοί που κινούνται αλλά είναι ο μεταξύ τους χώρος που μεγαλώνει, που «ξεχειλώνει». Και ενώ τίποτα το υλικό δεν μπορεί να τρέξει με μεγαλύτερη ταχύτητα από την ταχύτητα του φωτός, αυτό δεν ευσταθεί για τον χώρο ο οποίος μπορεί να διαστέλλεται πολύ ταχύτερα και από την ταχύτητα ακόμη του φωτός.

Μ' αυτήν λοιπόν την έννοια η Μεγάλη Έκρηξη δεν ήταν παρά μια «έκρηξη» αυτού τούτου του χώρου, μια τεραστίων δηλαδή διαστάσεων διαστολή του ή «ξεχειλώμά» του.

Ευθύς εξ αρχής διάφοροι ερευνητές, με προεξάρχοντα τον Τζωρτζ Γκάμωφ και τους συνεργάτες του στη δεκαετία του 1940, υπολόγισαν ότι, αν πράγματι το Σύμπαν γεννήθηκε από μια τέτοια «μεγάλη έκρηξη», τότε θα πρέπει σήμερα να υπάρχει ένα κατάλοιπο εκείνης της «έκρηξης», μια ακτινοβολία μικροκυμάτων υποβάθρου. Κατόρθωσαν, μάλιστα, να υπολογίσουν και τη θερμοκρασία της ακτινοβολίας αυτής στους περίπου πέντε βαθμούς Kelvin, πέντε βαθμοί, δηλαδή, πάνω από το απόλυτο μηδέν. Και πράγματι, το 1964-1965 δυο ερευνητές, οι Πενζίας και Ουίλσον, που έψαχναν άσχετα πράγματα, εντόπισαν αυτή την ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να πάρουν το βραβείο Νόμπελ Φυσικής μερικά χρόνια αργότερα. Το 1992 μία διαστημοσυσκευή ονόματι COBE, με μία χιλιάδα ερευνητών κατέγραψε το πρώτο πορτρέτο του Σύμπαντος όπως ήταν 380.000 χρόνια μετά τη γέννησή του. Τότε δηλαδή που μπορούσε η ακτινοβολία να καταγραφεί.

Δεν μπορούσαν, φυσικά, να πάρουν όλοι εκείνοι οι ερευνητές το βραβείο Νόμπελ, κι έτσι το πήραν μόνο οι δύο αρχηγοί αυτής της ομάδας ο Τζωρτζ Σμουτ και ο Τζων Μάδερ.

Ακόμη πιο πρόσφατα, πάντως, το 2003, μια άλλη διαστημοσυσκευή, η WMAP, μας αποκάλυψε ένα πιο λεπτομερές πορτρέτο αυτής της ακτινοβολίας, Ενώ από το 2009, μια καινούργια διαστημοσυσκευή, Ευρωπαϊκή αυτή την φορά, ονόματι Πλανκ, τοποθετήθηκε στο Διάστημα κι έτσι το πορτρέτο του νεογέννητου Σύμπαντος που διαθέτουμε σήμερα είναι ακόμη πιο λεπτομερές. Μας υπέδειξε επίσης ότι το Σύμπαν έχει ηλικία 13,82 δισεκατομμυρίων ετών, ενώ εντοπίστηκε επίσης και ο χρόνος της δημιουργίας των πρώτων άστρων που υπολογίζεται πλέον ότι γεννήθηκαν 200 μόλις εκατομμύρια χρόνια μετά την γέννηση του Σύμπαντος, 500 δηλαδή εκατομμύρια χρόνια νωρίτερα απ' ότι νομίζαμε μέχρι πρόσφατα!

Κι ενώ όλα αυτά συμβαίνουν στο μεγάκοσμο σύμφωνα με την Γενική Σχετικότητα, τα τελευταία 80 χρόνια η Κβαντομηχανική, σε όλα μας τα πειράματα, έχει αποδείξει με επιτυχία την πραγματικότητα των παράξενων συνθηκών που επικρατούν στον μικρόκοσμο των υποατομικών σωματιδίων. Παρ' όλα αυτά κανείς, όσο ειδήμων κι αν είναι, δεν υποστηρίζει ότι βαθιά μέσα στο μυαλό του μπορεί να κατανοήσει πλήρως όσα συμβαίνουν εκεί, ούτε να προβλέψει το αποτέλεσμα ενός πειράματος αλλά απλώς να υπολογίσει τις πιθανότητες κάποιου αποτελέσματος. Κι ενώ η θεωρία του Αϊνστάιν παρουσιάζει ένα Σύμπαν προβλέψιμο, στα βάθη του ατόμου η Κβαντομηχανική βασίζεται στην απροσδιοριστία και στις πιθανότητες, κάτι που

οδήγησε τον διαφωνούντα Αϊνστάιν να δηλώσει ότι στο Σύμπαν «ο Θεός δεν μπορεί να παίζει ζάρια».

Κι όμως αυτή είναι η πραγματικότητα που επικρατεί στον κόσμο των υποατομικών σωματιδίων, κάτι που αποδεικνύεται καθημερινά αφού χωρίς την ύπαρξη του θεωρητικού υπόβαθρου της Κβαντομηχανικής δεν θα υπήρχε καμία από τις χιλιάδες των ηλεκτρονικών συσκευών που διαθέτουμε σήμερα: τα κινητά τηλέφωνα και οι υπολογιστές, τα λέιζερ στην ιατρική, την επικοινωνία και την ψυχαγωγία, και οι χιλιάδες άλλες εφαρμογές τους. Χρησιμοποιούμε δηλαδή την Κβαντομηχανική καθημερινά, είτε το ξέρουμε είτε όχι, είτε την καταλαβαίνουμε είτε όχι.

Κι έτσι από την δεκαετία του 1930 και μέχρι τις αρχές του 1970, όσο παράξενο κι αν φαίνεται, ο κόσμος της Φυσικής είχε χωριστεί σε δύο διαφορετικά στρατόπεδα: σ' αυτούς που μελετούσαν τον μέγακοσμο των άστρων, των γαλαξιών και των κβάζαρ με την βοήθεια της Γενικής Σχετικότητας, και σ' αυτούς που μελετούσαν τον μικρόκοσμο των ατόμων και των υποατομικών τους σωματιδίων με την βοήθεια της Κβαντομηχανικής. Κι όλα αυτά γιατί απλούστατα κανείς δεν μπορούσε, ούτε και προσπαθούσε άλλωστε, να ενοποιήσει τις δύο αυτές μεγάλες θεωρίες του 20^{ου} αιώνα, την Γενική Σχετικότητα με την Κβαντομηχανική, σε μία ενοποιημένη θεωρία Πεδίου που να περιγράφει τη βαρύτητα ως μία κβαντισμένη δύναμη. Κι όμως η ενοποίηση αυτή, όσο κι αν φαίνεται ότι δεν έχει σημασία, είναι απαραίτητη στην προσπάθειά μας να κατανοήσουμε το Σύμπαν στο σύνολό του και ιδιαίτερα σε περιοχές ιδιαίτερα μεγάλης πυκνότητας και βαρύτητας, όπως είναι οι Μαύρες Τρύπες και η στιγμή της γέννησης του Σύμπαντος.

Γι' αυτό η ακριβής γνώση των πρώτων απειροελάχιστων στιγμών της δημιουργίας θα εξαρτηθεί από το αποτέλεσμα που θα έχει στο άμεσο μέλλον η προσπάθεια της σύγχρονης επιστήμης να συνδέσει την Κβαντομηχανική με τη Γενική Σχετικότητα σε μία και μοναδική Ενοποιημένη Θεωρία Πεδίου που να περιγράφει τη βαρύτητα ως μία κβαντισμένη δύναμη. Η σκέψη που κάνουν οι σύγχρονοι φυσικοί είναι ότι όπως και η βαρύτητα το ίδιο και οι άλλες τρεις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις (δυνάμεις) της φύσης ίσως να δημιουργούνται κι αυτές από χωροχρόνο-παραμορφώσεις. Για να εξηγηθεί όμως η ύπαρξη των δυνάμεων αυτών χρειαζόμαστε την ύπαρξη επτά πρόσθετων διαστάσεων. Αν η θεωρία αυτή αληθεύει, ζούμε σ' ένα Σύμπαν έντεκα διαστάσεων!

Επί πλέον, με την πρόσφατη ανακάλυψη του μποζονίου Χιγκς (τον Ιούλιο του 2012) άνοιξε ένα νέο κεφάλαιο στην ιστορία της φυσικής που ίσως να αντικαταστήσει το επονομαζόμενο «Καθιερωμένο Πρότυπο» με μια νέα θεώρηση του Σύμπαντος που ονομάζεται υπερσυμμετρία! Σ' αυτήν όμως την περίπτωση δεν υπάρχει ένα μόνο μποζόνιο Χιγκς αλλά πέντε! Κι έτσι παρόλο που η θεώρηση αυτή του Σύμπαντος μπορεί να ενώσει τις τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις σε μία και μοναδική υπερδύναμη, εντούτοις προβλέπει επίσης και την ύπαρξη, εκτός των πέντε μποζονίων Χιγκς, και μίας αρμάδας νέων σωματιδίων από τα οποία δεν έχουμε ανακαλύψει ακόμη κανένα!

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΥΠΑΡΞΗΣ ΒΑΡΥΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

(11 Φεβρουαρίου 2016, *Panhellenic Post*, Ουάσινγκτον)

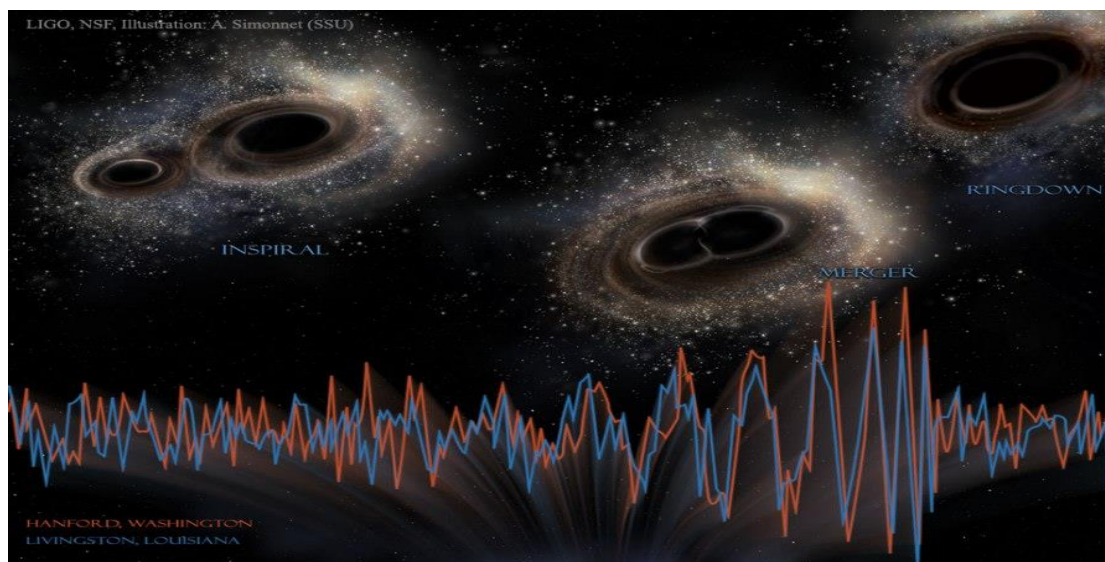
Το αμερικανικό πείραμα LIGO φαίνεται πως επιβεβαίωσε τον Άλμπερτ Αϊνστάιν για τα περίφημα βαρυτικά κύματα. «Κυρίες και κύριοι, ανιχνεύσαμε βαρυτικά κύματα. Τα καταφέραμε!» ανακοίνωσε πανηγυρικά ο Ντέιβιντ Ρέιτζε, εκτελεστικός διευθυντής του LIGO, μιλώντας σε συνέντευξη Τύπου του αμερικανικού Εθνικού Ιδρύματος Επιστήμης το απόγευμα της Πέμπτης στην Ουάσινγκτον.

Η εκπρόσωπος του πειράματος Γκέμπι Γκονζάλες, στις 14 Σεπτεμβρίου, ανέφερε ότι και οι δύο ανιχνευτές LIGO στις ΗΠΑ, οι οποίοι απέχουν μεταξύ τους 3.000 χιλιόμετρα, κατέγραψαν το πολυπόθητο σήμα με διαφορά 7 χιλιοστών του δευτερολέπτου -όσο θα περίμενε κανείς για ένα κύμα που ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός. Το πρώτο σήμα εντοπίστηκε στη Λουιζιάνα, ενώ μια ώρα αργότερα εντοπίστηκε ένα παρόμοιο σήμα, στη Ουάσινγκτον. Δύο από τους βασικούς συντελεστές του LIGO είναι, ο Ράινερ Ράις του MIT (Α) και ο Κιπ Θορν του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Καλιφόρνια (Caltech). Τα βαρυτικά κύματα έχουν παρατηρηθεί έμμεσα το 1993, από τους Taylor και Hulse, ωστόσο είναι η πρώτη φορά που τα παρατηρούμε άμεσα, δηλαδή, πρώτη φορά που παρατηρούνται κατευθείαν από την πηγή.

Το σήμα προήλθε από δύο μαύρες τρύπες σε απόσταση 1,3 δισεκατομμυρίων ετών φωτός από τη Γη, με 29 και 36 ηλιακές μάζες αντίστοιχα, στροβιλίστηκαν μεταξύ τους και συγχωνεύθηκαν για να καταλήξουν σε μια μαύρη τρύπα 62 ηλιακών μαζών, δημιουργώντας βαρυτικά κύματα. Δηλαδή οι μαύρες τρύπες βρέθηκαν σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, κινήθηκαν σπειροειδώς η μία προς την άλλη και τελικά συγκρούστηκαν και συγχωνεύτηκαν, παράγοντας πανίσχυρα κύματα που έφτασαν μέχρι τους ανιχνευτές. Από το έλλειμμα μάζας $\Delta M = 29 + 36 - 62 = 3$ ηλιακές μάζες, προκύπτει η ενέργεια που μεταφέρουν τα βαρυτικά κύματα.

Οι 3 ηλιακές μάζες που «λείπουν», μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου εξαυλώθηκαν σε μια ασύλληπτη ποσότητα ενέργειας η οποία, όπως προβλέπει η Γενική Σχετικότητα, εξαπλώθηκε στο Σύμπαν υπό τη μορφή βαρυτικών κυμάτων.

Καταγράφηκε μια απειροελάχιστη μεταβολή, μικρότερη από τη διάμετρο ενός πρωτονίου, στις διαστάσεις δύο κάθετων σωλήνων μήκους 4 χιλιομέτρων. Εκείνη τη στιγμή, ολόκληρη η Γη τεντώθηκε και συρρικνώθηκε ανεπαίσθητα. Το σήμα μετατράπηκε από τους ερευνητές σε ηχητικό αρχείο με συχνότητες από 35 έως 250 Hz., το οποίο τους επέτρεψε να ακούσουν τον ήχο δύο μελανών οπών που συγκρούονται.



Η ανακάλυψη έχει γίνει δεκτή για δημοσίευση σε μια σειρά άρθρων στις επιθεωρήσεις Physical Review Letters και The Astrophysical Journal. Η στατιστική αξιοπιστία των ευρημάτων φτάνει μάλιστα τα «5,1 σίγμα», πάνω από το όριο των 5 σίγμα που θεωρείται συνήθως το στάνταρτ για την επιβεβαίωση ανακαλύψεων στο χώρο της σωματιδιακής φυσικής (ακρίβεια 5σ σημαίνει ότι υπάρχει πιθανότητα 1 στα 3,5 εκατομμύρια το γεγονός να μην είναι πραγματικό).

Τα βαρυτικά κύματα τεντώνουν τον χώρο σε μια διάσταση (π. χ κατά μήκος) και τον συμπιέζουν σε μια άλλη (π. χ κατά πλάτος), μεταβάλλοντας ανεπαίσθητα τις διαστάσεις των αντικειμένων που συναντούν την πορεία τους. Η μεταβολή αυτή όμως είναι αδύνατον να μετρηθεί π. χ με έναν απ'λό χάρακα διότι ο ίδιος ο χάρακας θα μάκρυνε ή θα γινόταν κοντότερος μαζί με το αντικείμενο που θα έπρεπε να μετρήσει.

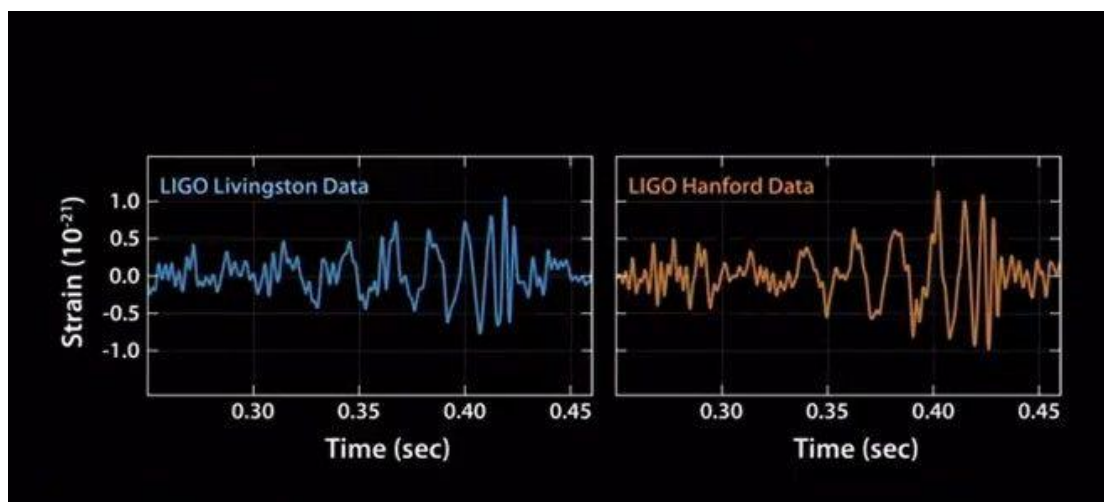
Τη λύση έδωσαν οι ανιχνευτές LIGO, οι οποίοι άρχισαν να συλλέγουν δεδομένα το 2001 και αναβαθμίστηκαν πέρυσι, λίγο πριν καταγράψουν το πολυπόθητο σήμα. Καθένας από τους ανιχνευτές αποτελείται από δύο κάθετους βραχίονες μήκους 4 χιλιομέτρων, μέσα στους οποίους αναπηδούν δύο κάθετες δέσμες λέιζερ.

Τα λέιζερ ουσιαστικά συγκρίνουν διαρκώς το μήκος των δύο κάθετων σωλήνων και καταγράφουν απειροελάχιστες αποκλίσεις (10.000 φορές μικρότερες από ένα πρωτόνιο), τόσο μικρές που οι μετρήσεις πρέπει να διακόπτονται κάθε φορά που περνά ένα τρένο σε απόσταση πολλών χιλιομέτρων ή ένα δέντρο πέφτει με γδούπο.

Το σήμα που καταγράφηκε στις 14 Σεπτεμβρίου υπολογίζεται ότι προέρχεται από τη σύγκρουση δύο μελανών οπών με μάζα 29 φορές και 36 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του Ήλιου.

Η σύγκρουση απελευθέρωσε ενέργεια που αντιστοιχεί σε 3 φορές τη μάζα του Ήλιου (η ενέργεια και η μάζα είναι ισοδύναμες στη Σχετικότητα) και εξαπλώθηκε στο Διάστημα από τα βαρυτικά κύματα. Η ενέργεια αυτή είναι μεγαλύτερη από ό,τι εκπέμπουν στον ίδιο χρόνο όλα τα άστρα του ορατού Σύμπαντος μαζί.

Οι μαύρες τρύπες που συγκρούστηκαν, βρίσκονταν 1.3 δισεκατομμύρια έτη φωτός μακριά. Αυτό σημαίνει, ότι μετά από ένα ταξίδι που διήρκεσε παραπάνω από ένα δισεκατομμύριο χρόνια, τα κύματα επιτέλους έφτασαν στον πλανήτη μας, στις 12 Σεπτεμβρίου του 2015, «κουνώντας» στους ανιχνευτές του πειράματος LIGO κατά ένα χιλιοστό του πλάτους ενός πρωτονίου! Ο ανιχνευτής κατάφερε να το εντοπίσει.



Όταν λέμε ότι τα βαρυτικά κύματα «ακούγονται», δεν εννοούμε ότι είναι κάποιου είδους ηχητικά κύματα.

Το «ακούω» χρησιμοποιείται εδώ ως αντιδιαστολή με τις πληροφορίες που συλλέγουμε για το Σύμπαν μέχρι στιγμής μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Όσο διαφορετική είναι η πληροφορία που φτάνει στον εγκέφαλό μας από τα αυτιά και τα μάτια μας για τον κόσμο που μας περιβάλλει τόσο –και ίσως ακόμη

περισσότερο– διαφορετική είναι η πληροφορία που μπορούμε να συλλέξουμε για τον Κόσμο από τα βαρυτικά σε σχέση με αυτές που συλλέγουμε από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

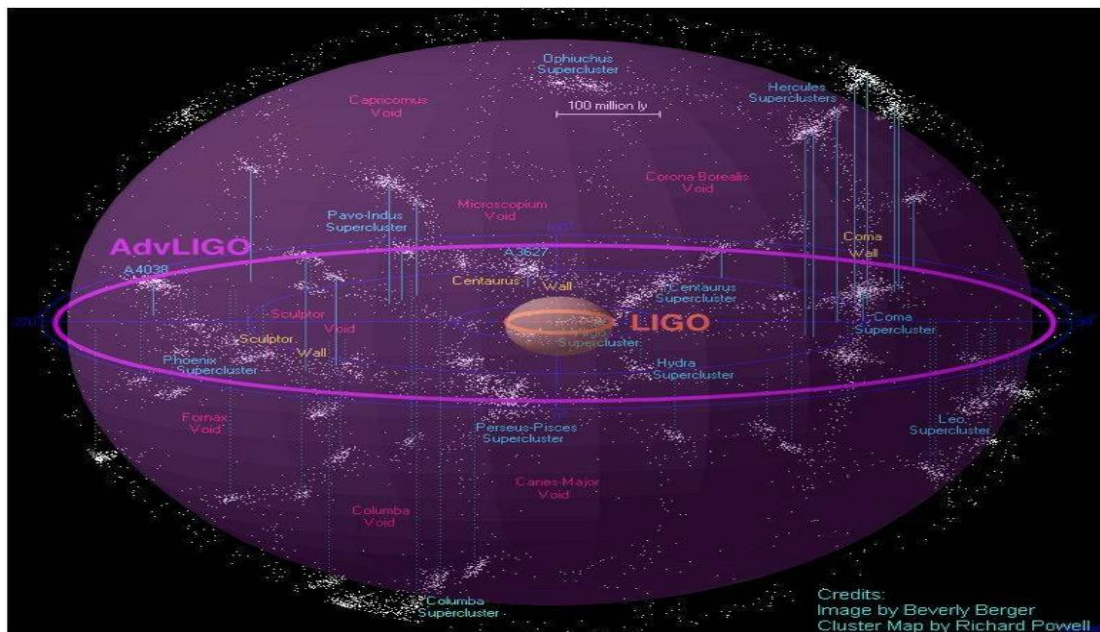
Ανιχνεύσιμα ισχυρά βαρυτικά κύματα εκπέμπονται μόνο από σώματα εξαιρετικά συμπαγή (μαύρες τρύπες, αστέρες νετρονίων, εκρήξεις υπερκαινοφανών, βαρυτικές διακυμάνσεις του πρώιμου Σύμπαντος) που κινούνται με ταχύτητες πολύ κοντά στην ταχύτητα του φωτός.

Τέτοια κοσμικά αντικείμενα όχι μόνο είναι συνήθως παντελώς σκοτεινά, αλλά εμπεριέχουν ένα εξωτικό άυλο «υλικό»: ισχυρότατες στρεβλώσεις του ίδιου του χωροχρόνου. Η θεωρία της Σχετικότητας μας λέει πώς συμπεριφέρεται αυτό το «υλικό» και τα βαρυτικά κύματα είναι ο μοναδικός τρόπος να διαπιστώσουμε αν πράγματι αυτό συμπεριφέρεται σύμφωνα με τις προβλέψεις της Σχετικότητας.

Επιπλέον, οι μαύρες τρύπες, αν και σήμερα είναι απολύτως αποδεκτές οντότητες από την κοινότητα των αστροφυσικών, μέσω των βαρυτικών κυμάτων μπορούν πλέον να παρατηρηθούν αυτές καθεαυτές και όχι να συνάγεται έμμεσα η ύπαρξή τους, όπως συνήθως γίνεται.

Μία άλλη επιστημονική ομάδα-πείραμα είναι το BICEP-2 στην Ανταρκτική, που έκανε το λάθος πρόπερσι, ανακοινώνοντας ότι είχε παρατηρήσει τα αρχέγονα βαρυτικά κύματα της «Μεγάλης Έκρηξης» (Μπιγκ Μπανγκ), ενώ μάλλον επρόκειτο για παραπλανητικό εύρημα εξαιτίας της διαστρικής σκόνης. Τα επόμενα χρόνια, σχεδιάζεται και το πρώτο αντίστοιχο πείραμα στο διάστημα (Laser Interferometer Space Antenna-LISA). Προπομπός του είναι η αποστολή του επιστημονικού δορυφόρου LISA Pathfinder, που εκτόξευσε πέρυσι η Ευρώπη.

Ο ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ LIGO



Σύμφωνα με την επίσημη ανακοίνωση, η ανίχνευση των βαρυτικών κυμάτων έγινε στις 14 Σεπτεμβρίου 2015 χάρη στην επαναλειτουργία δύο παρατηρησιακών κέντρων στις ΗΠΑ. Πρόκειται για δύο τεράστιες και πανάκριβες πειραματικές διατάξεις, τα Παρατηρητήρια Βαρυτικών Κυμάτων μέσω Συμβολόμετρου Λείζερ ή παρατηρητήρια LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory), που βρίσκονται, το ένα στο Λίβινγκστον της Λουιζιάνα και το δεύτερο, σε απόσταση 3.000 χιλιομέτρων, στο Χάνφορντ της Ουάσινγκτον.

Τα παρατηρητήρια LIGO, πανομοιότυπα από λειτουργικής και αρχιτεκτονικής απόψεως, λειτουργούσαν κανονικά από το 2002 μέχρι το 2010, χωρίς όμως να πετύχουν κάτι αξιόλογο στον τομέα της ανίχνευσης βαρυτικών κυμάτων.



Ένα από τα δυο Παρατηρητήρια Βαρυτικών Κυμάτων μέσω Συμβολόμετρου
Λείζερ του πειράματος LIGO

Γι' αυτό και προχώρησαν σε αναβάθμιση των ανιχνευτικών τους συστημάτων και του λογισμικού τους.

Τον προηγούμενο Σεπτέμβριο, λοιπόν, ξανάρχισαν να λειτουργούν βελτιωμένα και, σχεδόν αμέσως μόλις τέθηκαν σε λειτουργία, κατέγραψαν τα πρώτα εντυπωσιακά αποτελέσματα που ανακοινώθηκαν.

Η κάθε διάταξη τους συνίσταται από ένα τεράστιο συμβολόμετρο, μια διάταξη που χρησιμοποιεί την συμβολή δυο δεσμών φωτός λείζερ για να επιτύχει τις πιο ακριβείς μετρήσεις μήκους στον κόσμο.

Εκπέμπεται μια ακτίνα φωτός που διαχωρίζεται σε δυο ίσες ξεχωριστές ακτίνες. Οι φωτεινές δέσμες αφού διανύσουν κάθετες διαδρομές μήκους 4 χιλιομέτρων ανακλώνται σε καθρέπτες.

Οι ανακλώμενες ακτίνες επιστρέφουν πίσω στον διαχωριστή δέσμης και η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται 200 φορές.

Όταν τα βαρυτικά κύματα διέρχονται από την διάταξη μεταβάλλουν απειροελάχιστα το μήκος των βραχιόνων. Η διαταραχή από το βαρυτικό κύμα κάνει το φως που πέφτει στον ανιχνευτή να τρεμοπαίζει.

Οι δυο δέσμες του φωτός επιστρέφουν μετά την ανάκλασή τους στους καθρέπτες και συναντώνται στον διαχωριστή δέσμης και συμβάλλουν.

Κανονικά, όταν δεν υπάρχουν βαρυτικά κύματα, η απόσταση μεταξύ του διαχωριστή δέσμης και του κατόπτρου ρυθμίζεται έτσι ώστε τα κύματα φωτός να βρίσκονται σε αντίθεση φάσης το ένα από το άλλο και να αλληλοεξουδετερώνονται. Έτσι, δεν φτάνει φως στους ανιχνευτές.



Όταν όμως διέρχονται βαρυτικά κύματα τότε επιμηκώνεται ο ένας βραχίονας και μικραίνει ο άλλος με αποτέλεσμα να αλλάζει η φάση των κυμάτων. Στις δυο ακραίες περιπτώσεις, αν τα δυο κύματα βρεθούν σε φάση τότε παράγεται μια έντονη φωτεινή δέσμη κι όταν βρίσκονται σε αντίθεση δεν υπάρχει φωτεινό σήμα στους ανιχνευτές. Το πέρασμα των βαρυτικών κυμάτων θα κάνει το φωτεινό σήμα να τρεμοπαίζει.

Η ανάλυση αυτών των καταγεγραμμένων σημάτων από τους ανιχνευτές θα δώσει τα χαρακτηριστικά των βαρυτικών κυμάτων.

Οι μεταβολές στο μήκος των βραχιόνων είναι μόνο το ένα χιλιοστό της διαμέτρου του μεγέθους ενός πρωτονίου. Ασύλληπτο, αν σκεφθεί κανείς ότι οι διαστάσεις του πρωτονίου είναι μόλις ένα εκατοντάκις χιλιοστό της διαμέτρου ενός ατόμου! Το LIGO είναι ο πιο ακριβής χάρακας τους κόσμου!

Η ευαισθησία του ήδη υπάρχοντος ανιχνευτή έχει περιθώρια να βελτιωθεί ακόμη περισσότερο. Ένα πιο ευαίσθητο συμβολόμετρο θα μπορούσε να ανιχνεύσει πιο αμυδρά σήματα, δηλαδή σήματα που έρχονται από πιο μακριά.

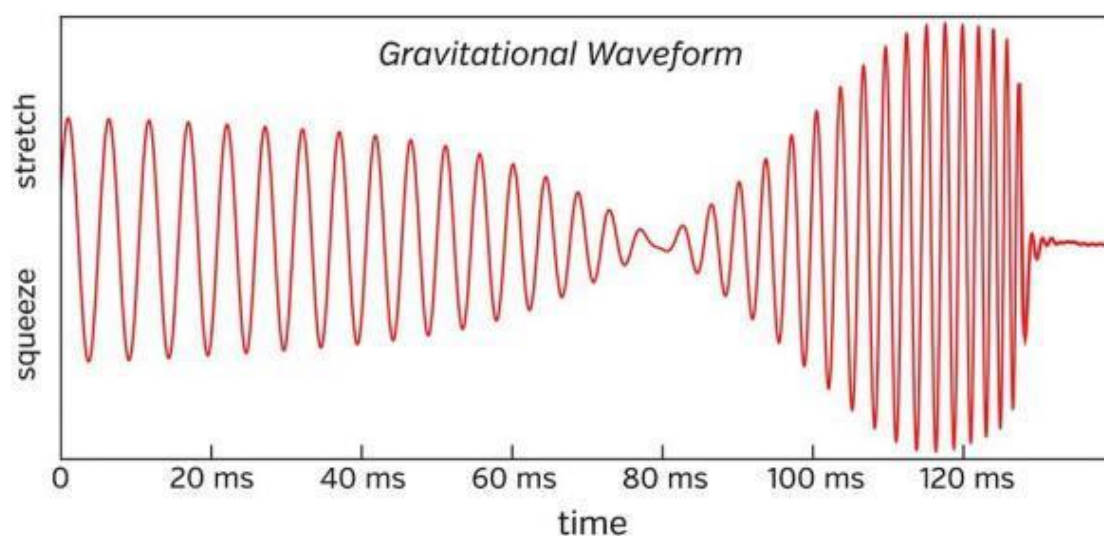
Αυξάνοντας όμως την απόσταση που μπορεί να «ακούσει» ο ανιχνευτής κατά έναν παράγοντα 10, μεγαλώνει το πλήθος των ανιχνεύσιμων σημάτων κατά 1.000.

Περισσότερα σήματα συνεπάγονται πιο πολλά δεδομένα, τα οποία θα καλύπτουν ενδεχομένως κάθε δυνατή μορφή πηγής βαρυτικών κυμάτων.

Τον Μάρτιο του 2014, διεθνής ερευνητική ομάδα προκάλεσε σάλο όταν ανακοίνωσε ότι εντόπισε ίχνη μιας ιδιαίτερης κατηγορίας βαρυτικών κυμάτων, τα οποία πρέπει να εμφανίστηκαν μια στιγμή μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Η μελέτη όμως τέθηκε υπό

αμφισβήτηση, και η ύπαρξη των βαρυτικών κυμάτων παρέμενε ανεπιβεβαίωτη μέχρι σήμερα. Τώρα που η θεωρία επιβεβαιώνεται, οι ερευνητές του LIGO έχουν λόγο να συνεργαστούν ακόμα πιο στενά με αντίστοιχα πειράματα σε άλλες χώρες, όπως οι ευρωπαϊκοί ανιχνευτές GEO600 και Virgo. Για το μέλλον σχεδιάζονται ακόμα μεγαλύτεροι ανιχνευτές, αποτελούμενοι από δορυφόρους που μετρούν με ακρίβεια τη μεταξύ τους απόσταση. Παράδειγμα είναι η αποστολή LISA της ευρωπαϊκής διαστημικής υπηρεσίας ESA, η οποία προγραμματίζεται να εκτοξευτεί το 2034.

Μια μέρα το 2011 το LIGO χτυπήθηκε από μια ριπή βαρυτικών κυμάτων πολύ ισχυρότερη από οποιαδήποτε άλλη φορά:



Τα τελευταία 120 milliseconds της βαρυτικής κυματομορφής που ανίχνευσε το LIGO. [Drawing by Kip based on simulations by Yanbei Chen and by Foucart et al. (2011)]

Το πλάτος των κυμάτων αυξομειώθηκε πολλές φορές και στη συνέχεια διακόπηκαν απότομα.

Το φαινόμενο διήρκησε μόνο λίγα δευτερόλεπτα. Συγκρίνοντας το σχήμα της κυματομορφής με τις προσομοιώσεις που πραγματοποίησαν υπερ-υπολογιστές, ο καθηγητής Brand και η ομάδα του συμπέραναν ότι τα βαρυτικά κύματα προκλήθηκαν από έναν αστέρα

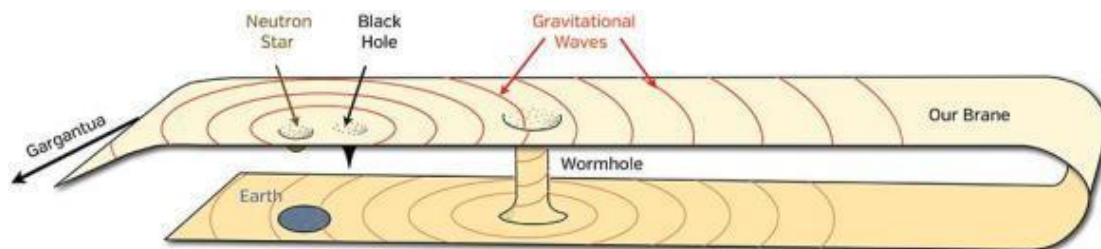
νετρονίωνσετροχιά γύρω από μια μαύρη τρύπα. Ο αστέρας νετρονίων που ζύγισε 1,5 ηλιακές μάζες συγχωνεύθηκε τελικά με τη μαύρη τρύπα που ζύγισε 4,5 ηλιακές μάζες. Κοιτάζοντας πίσω στα δεδομένα των προηγούμενων δυο ετών του LIGO, ο καθηγητής Brand και οι συνεργάτες του ανακάλυψαν πολύ ασθενή κύματα που εκπέμπονταν από το άστρο νετρονίων.

Αναλύοντας αυτά τα κύματα ανακάλυψαν την κατεύθυνση της πηγής τους. Τα κύματα προέρχονταν από κάτι που βρίσκονταν σε τροχιά γύρω από τον Κρόνο.

Καθώς η Γη και ο Κρόνος κινούνταν στις τροχιές τους, η πηγή ήταν πάντα κοντά στον Κρόνο! Ο Κρόνος θα έπρεπε να είχε καταστραφεί, και μαζί μ' αυτόν και το πλανητικό μας σύστημα. Αλλά τα βαρυτικά κύματα υπήρχαν. Και χωρίς καμία αμφιβολία προέρχονταν από την γειτονιά του Κρόνου.

Η μοναδική εξήγηση που μπορούσε να δώσει ο καθηγητής Brand ήταν ότι τα κύματα προέρχονταν από μια σκουληκότρυπα που περιστρέφονταν γύρω από τον Κρόνο. Η δε πηγή τους, η μαύρη τρύπα και το άστρο νετρονίων, θα έπρεπε να βρίσκονται από την άλλη μεριά της σκουληκότρυπας.

Τα κύματα που εκπέμφθηκαν από το δυαδικό σύστημα μαύρη τρύπα – άστρο νετρονίων, ταξίδεψαν διαμέσου της σκουληκότρυπας και στη συνέχεια διαδόθηκαν στο ηλιακό μας σύστημα φθάνοντας στον ανιχνευτή βαρυτικών κυμάτων LIGO στη Γη.



Τα βαρυτικά κύματα ταξίδεψαν διαμέσου της σκουληκότρυπας προς τη Γη

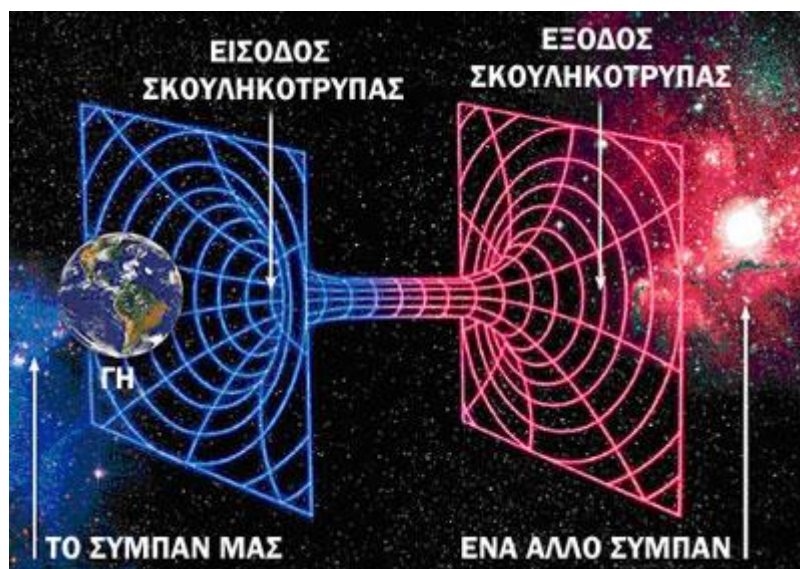
ΟΙ ΣΚΟΥΛΗΚΟΤΡΥΠΕΣ

Οι σκουληκότρυπες είναι λύσεις στις εξισώσεις πεδίου για τη βαρύτητα του Αϊνστάιν που ενεργούν ως "σήραγγες", συνδέοντας σημεία του χωροχρόνου κατά τέτοιο τρόπο ώστε το ταξίδι μεταξύ των σημείων μέσω της σκουληκότρυπας να μπορεί να διαρκέσει πολύ λιγότερο χρόνο από όσο το ταξίδι μέσω του συνηθισμένου χώρου.

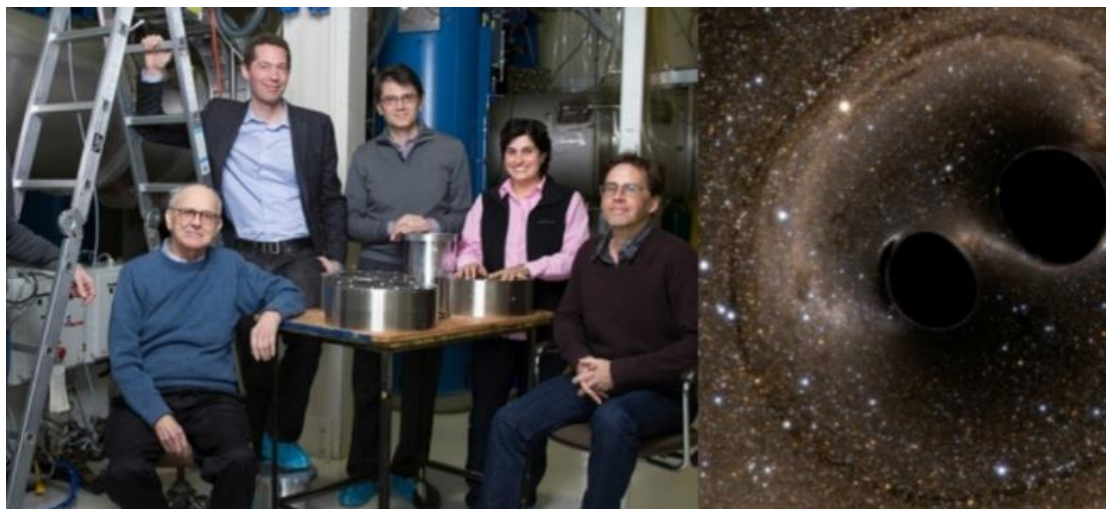
Οι πρώτες σκουληκότρυπες βρέθηκαν με τη μελέτη της μαθηματικής λύσης για τις μαύρες τρύπες. Εκεί διαπιστώθηκε ότι η γεωμετρική ερμηνεία της λύσης αυτής έμοιαζε με το σχήμα δύο μαύρων οπών (δύο στομάτων) που συνδέθηκαν με έναν "λαιμό" (γνωστή ως γέφυρα Einstein-Rosen). Ο λαιμός είναι ένα δυναμικό αντικείμενο που συνδέεται με τις δύο μαύρες τρύπες που πιάνονται εξαιρετικά γρήγορα με μια στενή σύνδεση μεταξύ τους.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι σκουληκοτρύπων που ενδιαφέρουν τους φυσικούς: Οι Λορεντζιανές (Lorentzian) σκουληκότρυπες (από τη Γενική Σχετικότητα) και οι Ευκλείδειες σκουληκότρυπες (από την σωματιδιακή φυσική).

Οι Λορεντζιανές σκουληκότρυπες είναι ουσιαστικά οι συντομότεροι δρόμοι μέσω του χώρου και του χρόνου. Οι Λορεντζιανές έρχονται σε δύο τύπους: Αυτή που συνδέει δύο σύμπαντα - το δικό μας με ένα άλλο - και αυτή που συνδέει δύο απομακρυσμένα μέρη του ίδιου σύμπαντος. Οι Λορεντζιανές σκουληκότρυπες δεν μπορούμε να αποδείξουμε ότι δεν υπάρχουν. Εάν υπάρχουν χρειάζονται μεγάλα ποσά αρνητικής μάζας για να κρατηθούν ανοικτές και να εμποδιστούν από την κατάρρευση.



Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΕΛΛΗΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΩΝ ΣΕ ΑΥΤΗ ΤΗΝ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ



Η κοινοπραξία (LIGO Scientific Collaboration), που συστάθηκε το 1997, περιλαμβάνει σήμερα πάνω από 1.411 φυσικούς και αστροφυσικούς από 83 πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα 15 χωρών

Στην διεθνή επιστημονική κοινοπραξία Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory) που έκανε τη βαρυσήμαντη ανακοίνωση για την ανακάλυψη βαρυτικών κυμάτων, συμμετέχει εδώ και 15 χρόνια ως βασική ερευνήτρια μία κορυφαία Ελληνίδα επιστήμων της διασποράς η Βίκυ Καλογερά.

Σε αυτό το ιστορικό πείραμα συμμετέχουν και άλλοι διαπρεπείς Έλληνες ερευνητές όπως ο αναπληρωτής καθηγητής Ερωτόκριτος Κατσαβουνίδης από το MIT, ο μεταδιδακτορικός ερευνητής Αντώνης Κοντός επίσης από το MIT, ο διδακτορικός ερευνητής Μιχάλης Αγάθος από το Εθνικό Ινστιτούτο Υποατομικής Φυσικής Ολλανδίας-πείραμα Virgo, η Μαίρη Σακελλαριάδου από το King's College, ο Νικόλας Δήμος από το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια, ο Λέων Δεληγιαννίδης, ο Ανδρέας Μελάτος από το Πανεπιστήμιο της Μελβούρνης και ο Αντώνης Μυτίδης από το Πανεπιστήμιο της Φλόριντα.

Η **Βίκυ Καλογερά** είναι καθηγήτρια αστροφυσικής του Πανεπιστημίου Northwestern του Σικάγο. Μάλιστα θεωρείται η κορυφαία αστροφυσικός μεταξύ όλων των ερευνητών-μελών του πειράματος LIGO. Η ελληνικής καταγωγής (από τις Σέρρες) αστροφυσικός, καθηγήτρια του Πανεπιστημίου Northwestern του Ιλινόις των ΗΠΑ, έχει τιμηθεί με το Βραβείο «Χανς Μπέτε» της Αμερικανικής Φυσικής Εταιρείας, για

το 2016. Πρόκειται για ένα από τα κορυφαία διεθνώς βραβεία στον τομέα της αστροφυσικής και της πυρηνικής φυσικής. Η τιμητική διάκριση της δίνεται για το ερευνητικό έργο της, που εστιάζεται στα άστρα-λευκούς νάνους, στους αστέρες νετρονίων και στις μαύρες τρύπες. Η κυρία Καλογερά είχε την ευκαιρία να γνωρίσει το 1998 τον Χάνς Μπέτε, τον Γερμανό και αργότερα αμερικανό πυρηνικό φυσικό, ο οποίος τιμήθηκε το 1967 με το Νομπέλ Φυσικής για το έργο του πάνω στην αστρική νουκλεοσύνθεση, ενώ είχε επίσης συμμετάσχει στη δημιουργία της ατομικής βόμβας και της βόμβας υδρογόνου. Είναι συν-ιδρύτρια και διευθύντρια του Κέντρου Διεπιστημονικής Εξερεύνησης και Έρευνας στην Αστροφυσική (CIERA) και συγγραφέας άνω των 200 επιστημονικών δημοσιεύσεων, μεταξύ των οποίων και για τα βαρυτικά κύματα. Έχει πολλές βραβεύσεις στο ενεργητικό της και η έρευνά της χρηματοδοτείται, μεταξύ άλλων, από τη NASA. Όπως δήλωσε η ίδια στο Αθηναϊκό και Μακεδονικό Πρακτορείο Ειδήσεων:

«Με την ανακάλυψη αυτή ανοίγουμε ένα καινούργιο παράθυρο παρατηρήσεων στο Σύμπαν. Τα βαρυτικά κύματα μας δίνουν πληροφορίες για τις μαύρες τρύπες και όχι μόνο, που κανένα ηλεκτρομαγνητικό τηλεσκόπιο δεν μπορεί να μας δώσει».

Ο **Ερωτόκριτος Κατσαβουνίδης** ανήκει στη διεθνή ομάδα επιστημόνων, που έκανε την παγκόσμια ανακάλυψη των βαρυτικών κυμάτων, την οποία μάλιστα παρομοιάζει σαν «τον ήχο που ξαφνικά μπήκε στη βουβή ταινία του σύμπαντος». Μαζί με τους φοιτητές και μεταδιδακτορικούς υπότροφους στο MIT, ανέπτυξαν και έναν από τους δύο αλγόριθμους, στους οποίους βασίστηκε η αρχική αναγνώριση του σήματος σε πραγματικό χρόνο.

«Μέχρι τώρα παρατηρούσαμε το σύμπαν, κοντινό και μακρινό, σαν να έρχεται καρέ-καρέ με την ταχύτητα του φωτός, σαν να βλέπουμε βωβό κινηματογράφο. Φανταστείτε τώρα τι σήμαινε όταν έγιναν οι ομιλούσες ταινίες και, κατ' αναλογία, σαν να έβαλες ξαφνικά ήχο στη βουβή ταινία του σύμπαντος»

Διευκρινίζει, ωστόσο, το πιο σημαντικό, όπως λέει για αποφυγή παρεξηγήσεων, ότι δηλαδή «δεν πρόκειται για ακουστικά κύματα που μεταδίδουν τον ήχο». Η παρομοίωση με τη μουσική γίνεται γιατί «τα βαρυτικά κύματα δημιουργούν μια κυματοσειρά σαν αυτή που έχουν τα MP3 player και αντιστοιχούν σε ακουστικές συχνότητες!»

Κάνοντας ιδιαίτερη μνεία στην τεχνολογία που αναπτύχθηκε για να γίνει το πείραμα, είτε πως συνολικά μέχρι σήμερα έχει στοιχίσει σχεδόν ένα δισεκατομμύριο δολάρια και χρηματοδοτήθηκε, στο μεγαλύτερο μέρος του, από το Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών της Αμερικής (National Science Foundation).

«Για να γίνει το πείραμα, αναπτύχθηκε πρωτόγνωρη τεχνολογία προκειμένου να δημιουργηθεί το πιο τέλειο μέτρο που έχει φτιαχτεί ποτέ. Αν σκεφτείς μάλιστα την τάξη μεγέθους για την μέτρηση, είναι εξωφρενική, γιατί έπρεπε να κατασκευασθούν διατάξεις που θα μπορούσαν να απομονωθούν από οποιαδήποτε κίνηση, 10 τάξεις μεγέθους στις χαμηλές συχνότητες και κυρίως από την κίνηση του εδάφους».

«Για την καθημερινή ζωή, αυτό που θα έχει το πιο άμεσο αποτέλεσμα, θα είναι η χρήση της τεχνολογίας που αναπτύχθηκε σε καθημερινές εφαρμογές. Όταν αναπτύξαμε τέτοια συστήματα απομόνωσης σεισμικού θορύβου, ένα λείζερ τέτοιας ακρίβειας ή όταν έχουμε κατασκευάσει έναν καθρέφτη με τέτοιο ομοιόμορφο επίστρωμα, είναι θέμα σύντομου χρόνου για το πότε θα ακολουθήσει και εφαρμογή τους στην καθημερινή μας ζωή. Επιπλέον, όλοι οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να αναλυθούν τα δεδομένα έχουν τη δυνατότητα να εφαρμοστούν σε προβλήματα που υπάρχουν» λέει ο επιστήμονας.

«Για τη χρήση και εφαρμογή των βαρυτικών κυμάτων, αυτών καθ' αυτών, πολύ φοβάμαι πώς δεν θα υπάρχει κάποια άμεση εφαρμογή στο εγγύς μέλλον. Βέβαια ούτε και ο Νεύτωνας θα μπορούσε να φανταστεί ότι το μήλο που παρατήρησε και οι νόμοι που έγραψε πώς θα έχουν όλες αυτές τις εφαρμογές 350 χρόνια αργότερα».

Μπορεί να αδυνατούμε να φανταστούμε τώρα τι θα σημαίνει για την καθημερινή ζωή, η ανακάλυψη των βαρυτικών κυμάτων, ωστόσο για τη φυσική, την αστρονομία και την αστροφυσική, θα φέρουν μια πραγματική επανάσταση παρέχοντας ένα φανταστικό εργαστήριο μελέτης της βαρύτητας και έναν ανεπανάληπτο τρόπο παρατήρησης του σύμπαντος.

Σύμφωνα με τον Έλληνα ερευνητή, μπορούμε να φτάσουμε με τα βαρυτικά κύματα,

ακόμα πιο κοντά και στην αρχή του σύμπαντος, αφού τώρα, το κοντινότερο που μπορούμε να δούμε από το Big Bang, είναι μέσω της κοσμικής ακτινοβολίας, που είναι όμως γύρω στα 400.000 χρόνια από την μεγάλη έκρηξη.

«Δεν μπορούμε να δούμε τίποτα πριν απ' αυτό γιατί το φως δεν μπορούσε να ξεφύγει. Εντούτοις, τα βαρυτικά κύματα θα πρέπει να υπάρχουν στο πρώτο τρισεκατομμυριοστό του τρισεκατομμυριοστού του τρισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου από τη γέννηση του σύμπαντος και θα έχουν αφήσει ένα πολύ χαρακτηριστικό αποτύπωμα, πρώτα απ' όλα στην κοσμική ακτινοβολία».

Ο Κερκυραίος ερευνητής **Μιχάλης Αγάθος** είναι ανάμεσα στους επιστήμονες που εργάστηκαν για την επιβεβαίωση των βαρυτικών κυμάτων, μια ανακάλυψη «ορόσημο» που με την ανακοίνωσή της που έγινε την Πέμπτη 11 Φεβρουαρίου, σκόρπισε συναισθήματα συγκίνησης και υπερηφάνειας, εφόσον πρόκειται για την πειραματική απόδειξη της ύπαρξης των κυμάτων ακριβώς 100 χρόνια μετά την σχετική αναφορά του Α. Αϊνστάιν στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας (1916).

Αποφοίτησε από το 2ο Ενιαίο Λύκειο Κέρκυρας το 2001 και συνέχισε με σπουδές στη Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών (ΣΕΜΦΕ) του Ε.Μ.Π. στην Αθήνα. Το 2007 στην Ουτρέχτη της Ολλανδίας άρχισε τις μεταπτυχιακές του σπουδές στη Θεωρητική Φυσική τις οποίες συμπλήρωσε με έναν ακόμη χρόνο στα Μαθηματικά. Το 2011 ξεκίνησε το διδακτορικό του πάνω στη Φυσική Βαρυτικών Κυμάτων στο ινστιτούτο Nikhef του Άμστερνταμ..

Η διδακτορική του έρευνα έχει να κάνει σε γενικές γραμμές με τη θεωρία και τις υπολογιστικές μεθόδους ανάλυσης στη Φυσική Βαρυτικών Κυμάτων. Κυρίως μελετάει τις δυνατότητες ανίχνευσης βαρυτικών κυμάτων που παράγονται από συμπαγή διπλά συστήματα, όπου δύο μαύρες τρύπες ή αστέρες νετρονίων βρίσκονται σε τροχιά και εν τέλει συγκρούονται και συγχωνεύονται με ταυτόχρονη εκπομπή πανισχυρών βαρυτικών κυμάτων. Ασχολείται με το πώς μέσω της λεπτομερούς ανάλυσης ενός τέτοιου σήματος μπορούμε να καταλήξουμε σε θεμελιώδη συμπεράσματα για τη φυσική: να επιβεβαιώσουμε ή να απορρίψουμε τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας και άλλες εναλλακτικές θεωρίες βαρύτητας, να κατανοήσουμε τις φυσικές ιδιότητες της ύλης από την οποία αποτελούνται οι αστέρες νετρονίων, κ.α..

Μετά τον εντοπισμό του GW150914, ο **Μιχάλης Αγάθος** είναι ένας από τους κεντρικούς αναλυτές και συγγραφείς του άρθρου που εξετάζει αν τελικά “ο Αϊνστάιν

είχε δίκιο”, και που επιπλέον θέτει νέα ανώτατα όρια στη μάζα του βαρυτονίου (του σωματιδίου που αντιστοιχεί στα βαρυτικά κύματα).

Ο Μιχάλης Αγάθος μας εξηγεί ότι ο χώρος και ο χρόνος, η “σκηνή” δηλαδή στην οποία διαδραματίζονται τα γεγονότα που παρατηρούμε γύρω μας, δεν είναι κάτι το απόλυτο και αμετάβλητο. Αποτελούν μια γεωμετρική οντότητα, το “χωρόχρονο”, ο οποία μεταβάλλεται, εξελίσσεται σαν μια ελαστική (4-διάστατη) επιφάνεια την οποία μπορείς να παραμορφώσεις, να καμπυλώσεις. Ο χωρόχρονος καμπυλώνεται παρουσία ύλης και ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό ερμηνεύουμε την επίδραση της βαρύτητας: οι τροχιές των αντικειμένων καθορίζονται από το πόσο καμπυλωμένος είναι ο χώρος μέσα στον οποίο κινούνται.

Όσον αφορά τα βαρυτικά κύματα εξηγεί ότι είναι διαταραχές στην ίδια τη γεωμετρία του χωρόχρονου, και προκαλούν μια εναλλασσόμενη διαστολή και συστολή στις διαστάσεις. Αν αυτή τη στιγμή μας διαπεράσει ένα βαρυτικό κύμα, τη μια στιγμή θα μας “στενέψει” και θα μας “ψηλώσει”, μετά από λίγο θα μας “παχύνει” και θα μας “κοντύνει”, κ.ο.κ. Τα βαρυτικά κύματα είναι ένα θεμελιώδες συστατικό της θεωρίας της σχετικότητας και επί 100 χρόνια αποτελούσαν το “άγιο δισκοπότηρο” της βαρυτικής φυσικής.

Αναφορικά με τα πειράματα που γίνονται και που θα ακολουθήσουν δηλώνει, ότι πρόκειται για μια διεθνή συνεργασία ενός “δικτύου” πειραμάτων ανά τον κόσμο με την ονομασία LIGO-Virgo Collaboration. Η πρώτη φάση λειτουργίας των πειραμάτων ολοκληρώθηκε το 2011 οπότε και οι 3 μεγάλοι ανιχνευτές, το LIGO Hanford στην πολιτεία Washington των ΗΠΑ, το LIGO Livingston στη Louisiana και το Virgo κοντά στην Πίζα της Ιταλίας, έκλεισαν για να υποβληθούν σε σημαντική αναβάθμιση, η οποία θα βελτίωνε κατά πολύ την ευαισθησία τους. Τον Σεπτέμβριο του 2015 ολοκληρώθηκε η αναβάθμιση των 2 ανιχνευτών LIGO και ξεκίνησε ο νέος κύκλος λήψης δεδομένων, ενώ το αναβαθμισμένο Virgo ακολουθεί μέσα στο 2016. Ο κάθε ανιχνευτής αποτελείται από μια διάταξη laser σε σχήμα “L” μήκους 4 (LIGO) και 3 (Virgo) χιλιομέτρων, με τη οποία μετράμε με απίστευτη ακρίβεια σχετικές μεταβολές στα μήκη των δύο πλευρών της. Τα βαρυτικά κύματα φθάνουν σε εμάς τόσο ασθενή ώστε παραμορφώνουν τους ανιχνευτές κατά μόλις 0.00000000000000000001 μέτρα, δηλ. κατά 1 χιλιοστό του μεγέθους ενός πρωτονίου!

Ένας μικρότερος ανιχνευτής μήκους 600 μέτρων, το GEO600 λειτουργεί στο Ανόβερο της Γερμανίας, ο οποίος μπορεί να μην έχει τις τεχνικές δυνατότητες των μεγάλων, αλλά λειτουργεί ως βασικό εργαστήριο για την ανάπτυξη και τη δοκιμή νέων μεθόδων και τεχνολογιών, οι οποίες αργότερα εφαρμόζονται στους μεγαλύτερους ανιχνευτές. Τέλος, στα άδυτα των τούνελ των παλιών ορυχείων Kamioka της Ιαπωνίας κατασκευάζεται ο πρώτος υπόγειος ανιχνευτής KAGRA, ο οποίος θα είναι έτοιμος μέσα στα επόμενα χρόνια, ενώ έχει προγραμματιστεί και η κατασκευή ενός ακόμη ανιχνευτή LIGO στην Ινδία (IndIGO).

Η σημασία της λειτουργίας πολλών ανιχνευτών ταυτόχρονα είναι τεράστια, καθώς όχι μόνο αλληλοεπιβεβαιώνουν τις μετρήσεις τους, αλλά ενισχύουν την ικανότητά μας να βρούμε τη διεύθυνση από την οποία προήλθε ένα βαρυτικό κύμα. Το μέτωπο ενός βαρυτικού κύματος “σαρώνει” κατά κάποιο τρόπο τη Γη με ταχύτητα φωτός και χτυπάει τους ανιχνευτές σχεδόν ταυτόχρονα ανάλογα με την κατεύθυνσή του. Οι μικρές χρονικές διαφορές μερικών *millisecond* στην άφιξη του κύματος μας βοηθάνε στο να εντοπίσουμε τη διεύθυνση προέλευσής του.

Ο επόμενης γενιάς ανιχνευτής σχεδιάζεται για τα 2020s, θα είναι ευρωπαϊκός, επίσης υπόγειος, θα φέρει την ονομασία Einstein Telescope και θα αποτελείται από 3 διατάξεις laser σε σχήμα “Δ” με την κάθε πλευρά να έχει μήκος 10 χιλιόμετρα.

Σε συνέντευξή του αναφέρει:

- *«Στις 14 του περασμένου Σεπτεμβρη στις 10:50:45 π.μ. ώρα Ελλάδος ένα ισχυρό βαρυτικό κύμα (γνωστό πλέον και ως “GW150914”) διαπέρασε ανενόχλητο το μικρό μας πλανήτη και διατάραξε την απόλυτη ηρεμία των δύο ανιχνευτών LIGO με διαφορά 7 millisecond. Στην πραγματικότητα η ιστορία του φίλου μας GW150914 ξεκίνησε πριν περίπου 1,3 δισεκατομμύρια έτη, όταν δύο μαύρες τρύπες που βρίσκονταν σε τροχιά η μία γύρω από την άλλη πλησίαζαν επικίνδυνα κοντά μεταξύ τους. Η μικρότερη των δύο είχε μάζα ίση με ~29 φορές τη μάζα του Ήλιου (δηλ. περίπου 10 εκατομμύρια φορές τη μάζα της Γης) ενώ η μεγαλύτερη ~40 φορές τη μάζα του Ήλιου. Όπως στο παράδειγμα με το ψάρι που κυνηγά την ουρά του, οι μαύρες τρύπες, επιταχυνόμενες συνεχώς και εκτελώντας δεκάδες κύκλους το δευτερόλεπτο, εκπέμπουν ένα κρεσέντο βαρυτικών κυμάτων με απίστευτη ισχύ. Υπολογίζεται ότι η μέγιστη ισχύς παραγωγής βαρυτικών κυμάτων στο σύστημα αυτό ήταν*

δεκάδες φορές μεγαλύτερη από τη συνολική ισχύ όλων των αστερών του Σύμπαντος μαζί!»

« Ο κυκλικός αυτός χορός τελειώνει με τις δύο μαύρες τρύπες να συγχωνεύονται σε μία, και κάπου εκεί η εκπομπή βαρυτικών κυμάτων σταματά απότομα. Τα τελευταία 0.2 δευτερόλεπτα, η εκπομπή βαρυτικών κυμάτων ήταν αρκετά δυνατή ώστε 1,3 δις έτη φωτός μακριά οι ανιχνευτές μας κατάφεραν να τα 'ακούσουν' ». Έτσι λοιπόν, μόλις μέσα στο πρώτο 48ωρο της λειτουργίας τους, οι νέοι μας ανιχνευτές κατέγραψαν την 1η ανίχνευση βαρυτικού κύματος στην ιστορία της ανθρωπότητας! Είναι μια από τις λίγες φορές που η φύση ήταν υπερβολικά γενναιόδωρη μαζί μας...»

Πράγματι, είναι μια ανακάλυψη που θα μείνει στην ιστορία! Είναι η πρώτη φορά που παρατηρήθηκαν βαρυτικά κύματα άμεσα στο εργαστήριο. Είναι η πρώτη φορά που έχουν αδιάσειστα στοιχεία εντοπισμού δυο μαύρων τρυπών σε διπλό σύστημα. Και τέλος, είναι η πρώτη φορά που παρατήρησαν μαύρες τρύπες να συγκρούονται, στο πιο βίαιο και πανίσχυρο γεγονός που έχουν παρατηρήσει ποτέ στο Σύμπαν!

« Η μορφολογία του σήματος μας λέει πολλά για την προέλευσή του, καθώς και για τους νόμους της φυσικής στους οποίους οφείλει την ύπαρξή του. Η βασική μελέτη στην οποία συμμετείχα και αποτελεί κομμάτι της διατριβής μου έχει να κάνει με το κατά πόσο η μορφή του κύματος που παρατηρήσαμε είναι συμβατή με όσα προβλέπουν οι εξισώσεις Αϊνστάιν.

Ουσιαστικά πρόκειται για ένα τεστ χωρίς προηγούμενο το οποίο καλείται η θεωρία να περάσει, καθώς ποτέ ξανά δεν είχαμε πρόσβαση σε τόσο ισχυρά βαρυτικά πεδία. Και το συμπέρασμά μας είναι ότι όντως η θεωρία επιβεβαιώνεται και μάλιστα με πολλούς διαφορετικούς τρόπους και με αρκετά μεγάλη, ανεπανάληπτη ακρίβεια!

Πολλά ακόμα μπορούμε να συμπεράνουμε για τον πληθυσμό μαύρων τρυπών στο Σύμπαν και τις μάζες τους, για τις διαδικασίες δημιουργίας τους, για την εξέλιξή των αστερών, αλλά και για την κοσμολογία και την εξέλιξη του Σύμπαντος.

Ως τώρα παρατηρούσαμε το Σύμπαν στο “ηλεκτρομαγνητικό φάσμα”, δηλαδή μέσω του φωτός, με τηλεσκόπια, το βλέπαμε να μας φωτίζει. Ξαφνικά λοιπόν ενεργοποιήσαμε ένα νέο αισθητήριο όργανο, και πλέον το ακούμε να

ΣΦΥΡΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

*δονείται! Με άλλα λόγια, το Σύμπαν πάντα μας σιγοτραγουδούσε και εμείς μόλις
βγάλαμε αυτιά!»*

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Ένα νέο παράθυρο για την εξερεύνηση του Σύμπαντος ανοίγει, αυτό της Βαρυτικής Αστρονομίας. Για πρώτη φορά ο άνθρωπος θα είναι σε θέση να παρατηρήσει περιοχές του Σύμπαντος που είναι «ηλεκτρομαγνητικά νεκρές». Σκοτεινές περιοχές μεταξύ γαλαξιών, περιοχές που κρύβονται πίσω από μεγάλα μεσοαστρικά ή/και μεσογαλαξιακά νέφη αλλά ακόμη και το εσωτερικό υπέρπυκνων αστέρων νετρονίων θα αποκαλύψουν τα μυστικά τους. Η έρευνα για την κατανόηση της μεγάλης έκρηξης που δημιούργησε το Σύμπαν μας θα πάρει μιανέα ώθηση. Με τα βαρυτικά κύματα θα είμαστε σε θέση να συγκεντρώσουμε πληροφορίες για τα πολύ πρώιμα στάδια της Δημιουργίας.

Οι υφιστάμενοι και οι μελλοντικοί ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων θα μπορούσαν λοιπόν να καταγράψουν βίαια φαινόμενα που θα ήταν αδύνατο να δουν τα τηλεσκόπια. Βαρυτικά κύματα πιστεύεται για παράδειγμα ότι παράγονται από άστρα νετρονίων και μαύρες τρύπες που συγκρούονται ή ακόμα και από γερασμένα άστρα που εκρήγνυνται σε σουπερνόβα (το υλικό τους επιταχύνεται απότομα καθώς εκτοξεύεται προς τα έξω).

Οι σημερινές παρατηρήσεις μας αρχίζουν μερικές εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια μετά τη μεγάλη έκρηξη, ενώ με τα βαρυτικά κύματα θα ‘παρατηρήσουμε’ το Σύμπαν όπως ήταν περίπου 10–32 δευτερόλεπτα μετά τη γέννηση του! Μια νέα εποχή ξεκινά λοιπόν που θα φέρει σημαντικές αλλαγές στη Θεωρητική Φυσική, την Αστρονομία και την Κοσμολογία.

Η ανακάλυψη των βαρυτικών κυμάτων μεταξύ άλλων ανοίγει ένα τελείως νέο πεδίο στην αστρονομία: την «αστρονομία βαρυτικών κυμάτων» ή «βαρυτική αστρονομία», που θα προστεθεί στην οπτική αστρονομία, στη ραδιοαστρονομία, στην αστρονομία ακτίνων-X, υπερύθρων, νετρίνων κ.ά. Η βαρυτική αστρονομία θα «ακούει» -παρά θα «βλέπει»- πράγματα άγνωστα έως τώρα, εφόσον τα βαρυτικά κύματα, καθώς ταξιδεύουν στο Σύμπαν, δεν εμποδίζονται από τίποτε. Επιπλέον, θα αποτελέσει το καλύτερο ίσως «παράθυρο» για τη μελέτη του προέλευσης του Σύμπαντος, αφού τα βαρυτικά κύματα υπήρχαν εξαρχής, πολύ πριν «γεννηθεί» το φως στον Κόσμο.

ΣΦΥΡΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Η άμεση παρατήρηση πολλών μαύρων τρυπών θα μας δώσει σημαντικές πληροφορίες για τα δημογραφικά τους στοιχεία ως προς την κατανομή τους και την εξέλιξή τους στο Σύμπαν.

Τέλος, η παρατήρηση βαρυτικών σημάτων από το πρώιμο Σύμπαν θα μπορέσει να μας δώσει πληροφορίες για τις απαρχές του Σύμπαντός μας, πολύ πιο πίσω στο χρόνο από αυτές που μπορούμε να έχουμε μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Η ανίχνευση Βαρυτικών Κυμάτων αποτελεί αναμφίβολα μια ιστορική ανακάλυψη που ανοίγει τον δρόμο για νέες μικρές και μεγάλες ανακαλύψεις. Αναμφίβολα έχουμε ακόμα πολλά να δούμε μέσα από το νέο «μάτι» της βαρύτητας, το ταξίδι ξεκίνησε!

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στον επίλογο της πτυχιακής μου θα ήθελα να αναφέρω και να τιμήσω τον Αριστοτέλη που με την καταπληκτική οξύνοια του, κατέγραψε πολλές σκέψεις για την έννοια του χρόνου, από την εποχή που οι επιστήμες μόλις ξεκινούσαν. Σε μία από αυτές ανέφερε μία τέτοια απόσπαση της έννοιας του χρόνου, όπου οδηγεί σε απροσεξίες.

«Κάθε μεταβολή είναι ταχύτερα ή βραδύτερα, ο χρόνος όμως όχι» (Φυσικά, σ189, Πάπυρος).

«Μπορεί πάλιν εις κανένα να παρουσιασθή και η απορία ποίας κινήσεως είναι ο χρόνος αριθμός. Είναι αριθμός οποιασδήποτε κινήσεως; Διότι μέσα εις τον χρόνο γίνονται ταυτοχρόνως και γένεσις και φθορά και αύξησις και αλλοιώσις και τοπική μετακίνησις. Καθ' όσον λοιπόν υπάρχει κίνησις, εις την μέτρησιν αυτήν υπάρχει ένας αριθμός εκάστης κινήσεως. Δι' αυτό ο χρόνος είναι αριθμός της κινήσεως του συνεχούς γενικά, όχι κάποιας κινήσεως. Είναι όμως γεγονός ότι μέσα εις το ίδιο νυν, πραγματοποιούνται κινήσεις πολλών πραγμάτων, κινήσεις που θα πρέπει αντιστοίχως να έχουν το αριθμό των.»

Ευελπιστούμε σύντομα, οι επιστήμονες να συνεχίσουν με νέες ανακαλύψεις, ίσως κάποιων σημάτων που προέρχονται από διπλά συστήματα με αστέρες νετρονίων, από εκρήξεις supernova, ή και από πηγές κοσμολογικής προέλευσης (κοσμικές χορδές, “απόηχους” του Big Bang κ.α.).

Μπαίνουμε σε μια νέα συναρπαστική εποχή για τη Φυσική. Η ανακάλυψη αυτή ήταν μόνο η αρχή!

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ- ΠΗΓΕΣ

<http://www.panhellenicpost.com/2016/02/11/>

https://ideopigi.blogspot.gr/2016/12/blog-post_78.html

<http://www.scienceandtechnology.gr/specials/varitika-kimata-kai-plithorismos/>

<http://physicsgg.me/>

<http://www.cfa.harvard.edu/>

<http://cosmology.berkeley.edu/~yuki/CMBpol/CMBpol.htm>

Περιοδικό "ΠΕΡΙΣΚΟΠΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ" Τεύχος 320 , Νοέμβριος 2007

<http://www.physics.ntua.gr/~zamarias/evi/home.html>

<http://www.astronomos.gr>

<http://m.city.sigmalive.com>

<http://suprnovagr.blogspot.gr>

<http://www.kosmologia.gr>

<http://ermionida.me>

<http://www.huffingtonpost.gr>

<https://el.wikipedia.org>

<http://www.liberal.gr>

<https://anthologio.wordpress.com>

<http://akontogeorgiou.blogspot.gr/>

<http://dim-manos.narod.ru>

<http://www.sfak.org>

<http://www.sfkritis.gr/>

<http://ivan-2-google.blogspot.gr>

<http://www.tovima.gr>

<http://www.protagon.gr>