

# Ταξίδια στο Σύμπαν μέσα στο Χώρο και στο Χρόνο

## Παναγιώτα Καντή

Τομέας Θεωρητικής Φυσικής, Τμήμα Φυσικής,  
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα Τ.Κ. 45110, Ελλάδα

## Περίληψη

Μετά από μια σύντομη αναφορά στις υπόλοιπες δυνάμεις της φύσης, εστιάζουμε την προσοχή μας στη δύναμη της βαρύτητας και παρουσιάζουμε τις δύο βασικές θεωρίες που έχουν διατυπωθεί για αυτή, τις θεωρίες του Νεύτωνα και του Αινστάιν. Μελετούμε την εξέλιξη του σύμπαντος, απαντούμε στο ερώτημα για το αν το σύμπαν θα πάφει να υπάρχει και εξετάζουμε την δυνατότητα να πραγματοποιήσουμε ταξίδια στο χώρο και στο χρόνο με την βοήθεια μαύρων οπών και χωροχρονικών τούνελ.

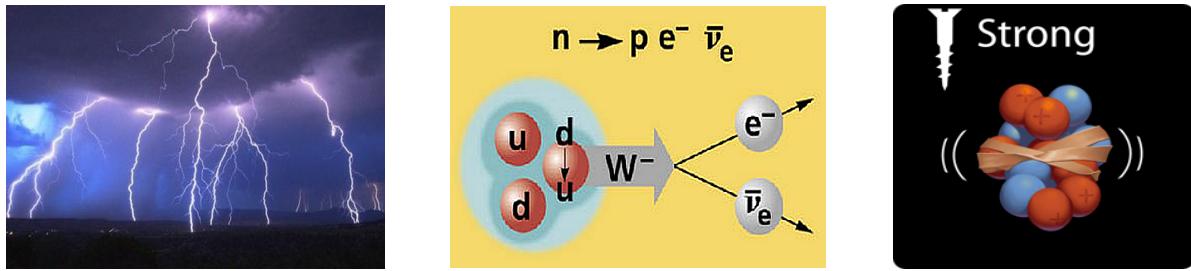
## 1 Εισαγωγή

Η Φυσική είναι η επιστήμη που μελετά τα φυσικά φαινόμενα και περιγράφει τον Κόσμο γύρω μας. Ένα παράδειγμα των δυνατοτήτων της επιστήμης της φυσικής προκύπτει από το ακόλουθο πείραμα: φανταστείτε μια εικόνα - μια ανάμνηση, μια φωτογραφία ή ένα ζωγραφικό πίνακα. Η φυσική μπορεί να εξηγήσει οποιοδήποτε φυσικό στοιχείο ή διεργασία εμφανίζεται μέσα σε αυτή: το γιατί ο ήλιος λάμπει, γιατί υπάρχει η μέρα, η νύχτα ή οι εποχές του χρόνου, το πως δημιουργούνται τα σύννεφα, η βροχή ή το χιόνι, το χρώμα του ουρανού ή των δέντρων, το πως επιπλέουν τα πλοία και πετούν τα πουλιά, το πώς περπατούν, ακούν ή βλέπουν οι άνθρωποι, και ούτω καθεξής.

Όλα τα Φυσικά Φαινόμενα είναι στην βάση τους εκδηλώσεις της δράσης των τεσσάρων βασικών δυνάμεων της Φύσης. Η επιστήμη της φυσικής μετά από έρευνες αιώνων και τις συλλογικές προσπάθειες χιλιάδων επιστημόνων της έχει σήμερα στην διάθεσή της μαθηματικές θεωρίες για κάθε μια από τις τέσσερις αυτές δυνάμεις. Το άρθρο αυτό εστιάζει κυρίως στη δύναμη της βαρύτητας και τις προβλέψεις της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας, της πληρέστερης θεωρίας που διαβέτουμε σήμερα για να περιγράψουμε με ακρίβεια τις βαρυτικές αλληλεπιδράσεις και να κατανοήσουμε το σύμπαν μας.

## 2 Οι Δυνάμεις της Φύσης

Η δύναμη με τις περισσότερες εκδηλώσεις στην καθημερινή μας ζωή είναι η Ηλεκτρομαγνητική δύναμη. Αρχικά θεωρούνταν δύο διαφορετικές δυνάμεις, η ηλεκτρική και η μαγνητική, και για αιώνες μελετήθηκαν ξεχωριστά η μία από την άλλη. Τον 6ο



Σχήμα 1: (α) Η Ηλεκτρομαγνητική Δύναμη, (β) η Ασθενής Πυρηνική Δύναμη, και (γ) η Ισχυρή Πυρηνική Δύναμη.

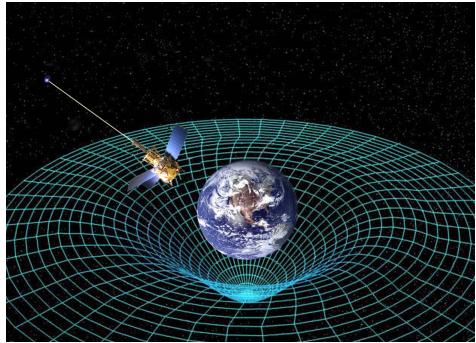
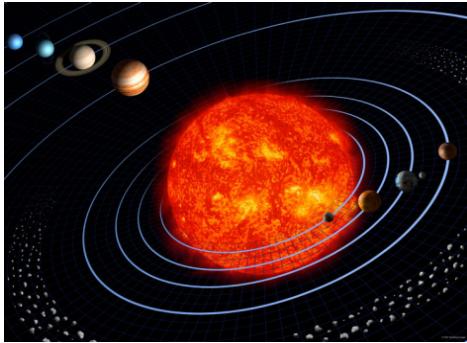
αι. π.Χ., ο Θαλής ο Μιλήσιος ανακάλυψε το ‘ήλεκτρο’ και μελέτησε συστηματικά το φαινόμενο του ηλεκτρισμού ενώ εισήγαγε και τον όρο ‘μαγνητισμός’. Στην συνέχεια, και άλλοι πολιτισμοί, όπως οι Ινδοί και οι Κινέζοι μελέτησαν τα φαινόμενα του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού υιοθετώντας όμως μια χρηστική προσέγγιση. Έτσι, οι Κινέζοι, χωρίς να έχουν αναπτύξει κάποια θεωρία για τον μαγνητισμό, κατασκεύασαν πρώτοι την μαγνητική πυξίδα και καθιέρωσαν την χρήση της.

Τον 19ο αι., μια σειρά πειραμάτων αποκάλυψε ότι το φαινόμενο του ηλεκτρισμού προκαλεί μαγνητισμό και το αντίστροφο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τα δύο φαινόμενα να ενσωματωθούν σε ένα, το ηλεκτρομαγνητικό, και να αναπτυχθεί μια κοινή θεωρία από τον Τζέιμς Κλερχ Μάξγουελ το 1861, η οποία ισχύει έως σήμερα. Η δύναμη του ηλεκτρομαγνητισμού είναι υπεύθυνη για πληθώρα φαινομένων της καθημερινής μας ζωής, όπως το φως του ήλιου, το χρώμα των σωμάτων, την αίσθηση της όρασης αλλά και για όλες τις μηχανικές δυνάμεις (Σχήμα 1α).

Η δεύτερη δύναμη της φύσης είναι η Ασθενής Πυρηνική Δύναμη. Σε αντίθεση με την ηλεκτρομαγνητική, είναι μια δύναμη πολύ μικρής εμβέλειας και για τον λόγο αυτό την συναντούμε μόνο στο επίπεδο των στοιχειωδών σωματιδίων, των μικρότερων δομικών λίθων της ύλης. Είναι υπεύθυνη για την μετατροπή του νετρονίου σε πρωτόνιο, και έτσι αποτελεί την βάση της πηγής ενέργειας του ήλιου και του φαινομένου της ραδιενέργειας (Σχήμα 1β).

Μένοντας στον μικρόκοσμο, συναντούμε μια τρίτη δύναμη, την Ισχυρή Πυρηνική Δύναμη. Είναι επίσης μια δύναμη πολύ μικρής εμβέλειας – ο βασικός σκοπός της ύπαρξής της είναι να κρατά ενωμένα τα πρωτόνια και νετρόνια μέσα στους πυρήνες των ατόμων (Σχήμα 1γ). Είναι επομένως υπεύθυνη για την σταθερότητα του πυρήνα του ατόμου και την ύπαρξη της ίδιας της ζωής.

Οι τρεις αυτές δυνάμεις, η ηλεκτρομαγνητική, η ασθενής και η ισχυρή πυρηνική, περιγράφονται πλέον σήμερα από μια κοινή μαθηματική θεωρία, το λεγόμενο Καθιερωμένο Πρότυπο των Στοιχειωδών Σωματιδίων – μάλιστα, η προσπάθεια δημιουργίας της κοινής αυτής θεωρίας απέσπασε δύο βραβεία Νόμπελ Φυσικής, το 1979 και το 2004. Μια Τελική Θεωρία που θα ενοποιεί όλες τις δυνάμεις της φύσης σε ένα κοινό μαθηματικό πλαίσιο μέχρι στιγμής δεν υπάρχει, αφού η τέταρτη δύναμη, η βαρυτική, παρουσιάζει κάποιες ιδιαιτερότητες.



Σχήμα 2: (α) Το Ηλιακό μας Σύστημα, όπου κυριαρχεί η βαρυτική δύναμη, και (β) η καμπύλωση του χωρόχρονου σύμφωνα με την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας.

### 3 Η Βαρυτική Δύναμη

Όπως και η ηλεκτρομαγνητική δύναμη, η Βαρυτική Δύναμη είναι μακράς εμβέλειας. Είναι ουσιαστικά ανύπαρκτη στο επίπεδο των στοιχειώδων σωματιδίων αλλά κυρίαρχη στον μακρόχρονο. Είναι η δύναμη που μας κρατά δέσμιους στην επιφάνεια της Γης αλλά και αυτή που κρατά τους πλανήτες σε τροχιές γύρω από τον Ήλιο (Σχήμα 2α).

Η πρώτη μαθηματική θεωρία που είχε σκοπό να περιγράψει την βαρυτική δύναμη δημοσιεύθηκε από τον Ισαάκ Νεύτωνα το 1686. Λέγεται ότι την έμπνευση για αυτή την θεωρία του την έδωσε ένα μήλο που έπεσε στο κεφάλι του καθώς διάβαζε το βιβλίο του καθισμένος κάτω από μια μηλιά. Ο λεγόμενος παγκόσμιος νόμος της βαρύτητας που διατύπωσε έχει την μορφή:

$$F = G_N \frac{M_1 M_2}{r^2}, \quad (1)$$

όπου  $F$  η βαρυτική δύναμη που ασκείται ανάμεσα σε δύο σώματα με μάζες  $M_1$  και  $M_2$  που βρίσκονται σε απόσταση  $r$  μεταξύ τους και  $G_N$  μια σταθερά αναλογίας. Η δύναμη αυτή επομένως ανάμεσα σε δύο σώματα είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερες είναι οι μάζες τους και όσο μικρότερη είναι η μεταξύ τους απόσταση. Δεν είναι λοιπόν περίεργο που η βαρυτική δύναμη είναι αμελητέα ανάμεσα σε στοιχειώδη σωματίδια που έχουν απειροστά μικρές μάζες ενώ κυριαρχεί σε μακροσκοπικό επίπεδο όπου τα αλληλεπιδρώντα σώματα έχουν μεγάλες μάζες.

Η θεωρία του Νεύτωνα ήταν απολύτως συμβατή τόσο με τις αστρονομικές παρατηρήσεις του Τύχο Μπραχέ (1580) όσο και με τους εμπειρικούς νόμους του Γιόχαν Κέπλερ (1609) για την κίνηση των πλανητών. Εκτός από μια μικρή, αλλά σημαντική, διαφωνία όσον αφορά στην τροχιά του πλανήτη Ερμή. Ο Ερμής, έπειτα από κάθε πλήρη περιφορά γύρω από τον Ήλιο, αντί να επανέλθει στο ίδιο σημείο, ‘μεταπίπτει’, η τροχιά του δηλαδή μετατοπίζεται ελαφρώς προς τα αριστερά. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην έντονη βαρυτική έλξη του Ήλιου και των υπόλοιπων πλανητών. Ενώ όμως η μετάπτωση του Ερμή βρέθηκε παρατηρησιακά να είναι ίση με 0.164 μοίρες κάθε 100 χρόνια, η θεωρία του Νεύτωνα προέβλεπε μόνο 0.151 μοίρες κάθε 100 χρόνια! Παρ' όλο που η διαφορά ήταν μικρή, δεν καλυπτόταν από το παρατηρησιακό σφάλμα και αποδείκνυε ότι η θεωρία του Νεύτωνα δεν είναι ακριβής σε περιοχές έντονου βαρυτικού πεδίου.

Ποιος όμως θα μπορούσε να φτιάξει μια ακριβέστερη θεωρία για τη βαρύτητα; Ο Αλβέρτος Αινστάιν το 1905 είχε ήδη διατυπώσει μια επαναστατική θεωρία, την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας, η οποία προέβλεψε ότι ο χώρος και ο χρόνος δημιουργούν τον ‘χωρόχρονο’, ένα υπόβαθρο μέσα στο οποίο συμβαίνουν τα διάφορα γεγονότα. Δέκα χρόνια αργότερα, το 1915, ο Αινστάιν διατύπωσε μια καινούρια θεωρία, την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, που συνδυάζει την ιδέα του χωρόχρονου με τη δύναμη της βαρύτητας. Βασικό στοιχείο της θεωρίας είναι η υπόθεση ότι ο χωρόχρονος καμπυλώνεται γύρω από κάθε ποσότητα ύλης ή ενέργειας (Σχήμα 2β).

Ο Αινστάιν με την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας προέβλεψε ακριβώς την μετάπτωση της τροχιάς του Ήλιου. Προέβλεψε όμως και μια σειρά από φαινόμενα που φανέρωναν την ιδιαιτερότητα και τις πέρα από κάθε φαντασία επιπτώσεις της καινούριας θεωρίας: την καμπύλωση των ακτίνων φωτός λόγω της βαρυτικής έλξης του Ήλιου αλλά και την βαρυτική εξασθένηση (την απώλεια ενέργειας δηλαδή) και τη βαρυτική καθυστέρηση (την ελάττωση της ταχύτητας) των φωτεινών κυμάτων καθώς αυτά περνούν μέσα από το βαρυτικό πεδίο του Ήλιου. Η παρατηρησιακή επιβεβαίωση όλων των παραπάνω φαινομένων εδραίωσε την αξιοπιστία της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας που αντικατέστησε δια παντός την θεωρία της βαρύτητας του Νεύτωνα.

## 4 Η Εξέλιξη του Σύμπαντος

Το μεγαλύτερο βαρυτικό σύστημα που μπορεί κανείς να μελετήσει είναι το ίδιο το σύμπαν (Σχήμα 3α). Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας είναι σε θέση να προβλέψει την εξέλιξή του στο χρόνο: από πού ξεκίνησε, πώς εξελίσσεται, πώς θα τελειώσει. Σύμφωνα λοιπόν με τη θεωρία αυτή, το σύμπαν μας δεν είναι στατικό αλλά διαστέλλεται με τον χρόνο όπως ένα μπαλόνι. Η πρόβλεψη αυτή βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με τα παρατηρησιακά δεδομένα που συνέλλεξε ο Έντγουιν Χαμπλ το 1928 και τα οποία έδειχναν όλους σχεδόν τους γαλαξίες να απομακρύνονται από τον δικό μας. Αν αντιστρέψουμε το βέλος του χρόνου, θα δούμε το σύμπαν να γίνεται συνεχώς μικρότερο ώσπου μια χρονική στιγμή, που αυθαίρετα της δίνουμε την τιμή μηδέν, θα συρρικνωθεί σε ένα και μοναδικό σημείο, την Αρχική Ιδιομορφία (ή Big Bang). Το σημείο αυτό είναι ένα σημείο άπειρης πυκνότητας ύλης και άπειρης θερμοκρασίας από το οποίο γεννήθηκε το σύμπαν μας.

Το σύμπαν μας έχει σήμερα ηλικία 13.7 δισεκατομμυρίων ετών και όλες οι φάσεις δημιουργίας των δομών της ύλης μέσα σε αυτό (πυρήνες, άτομα, αστέρες, γαλαξίες) έχουν ολοκληρωθεί. Τίθεται λοιπόν εύλογα το ερώτημα: ποια θα είναι η μελλοντική εξέλιξη του σύμπαντος; Σύμφωνα και πάλι με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, αυτό εξαρτάται από την συγκέντρωση ύλης και ενέργειας κενού (μιας σταθερής κατανομής ενέργειας του οποίου την προέλευση αγνοούμε – εξ’ ου και το εναλλακτικό όνομα ‘σκοτεινή ενέργεια’) μέσα στο σύμπαν. Οι σημερινές παρατηρήσεις δείχνουν ότι το σύμπαν μας περιέχει περίπου 30% ύλη και 70% ενέργεια κενού. Τα κοσμολογικά μοντέλα τότε προβλέπουν ότι το σύμπαν μας θα διαστέλλεται επ’ άπειρον.

Παρ’ όλο που το τέλος του σύμπαντος δεν θα επέλθει ποτέ, δεν ισχύει το ίδιο για τον κόσμο μας όπως τον βλέπουμε γύρω μας. Σε 5 δισεκατομμύρια χρόνια, όταν το υδρογόνο που καίγεται στο εσωτερικό του εξαντληθεί, ο Ήλιος θα μπει στη φάση καύσης του ηλίου



Σχήμα 3: (α) Μια τυπική εικόνα μέσα στο σύμπαν μας, και (β) χαλλιτεχνική απεικόνιση της σύγχρουσης ενός κομήτη με την Γη.

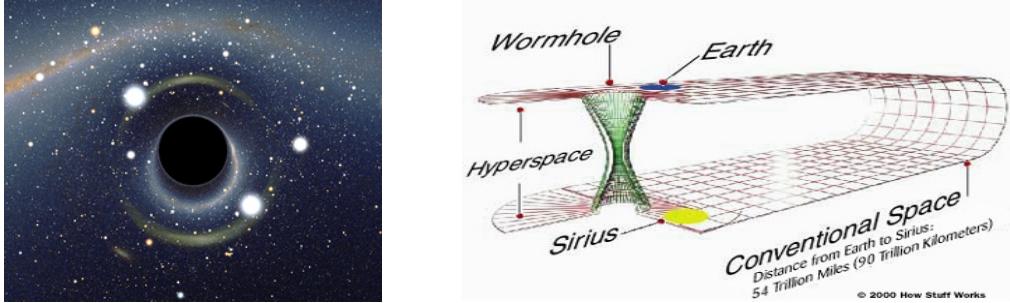
– το επόμενο βαρύτερο στοιχείο που υπάρχει στο εσωτερικό του. Η φάση αυτή ονομάζεται φάση του κόκκινου γίγαντα και συνοδεύεται από την απότομη διαστολή του αστέρα. Η ακτίνα του θα γίνει εκατό φορές μεγαλύτερη και θα καλύψει μέχρι και την τροχιά της Γης με αποτέλεσμα κάθε μορφή ζωής επάνω σε αυτή να εξαφανιστεί.

Είμαστε λοιπόν ασφαλείς για τα επόμενα 5 δισεκατομμύρια χρόνια; Αυτό κανείς δεν μπορεί να το πει με σιγουριά. Μια τυχαία σύγχρουση ενός κομήτη με την Γη μπορεί να αποβεί μοιραία για το ανθρώπινο γένος (Σχήμα 3β), όπως κατά πάσα πιθανότητα απέβη μοιραία για τους δεινόσαυρους εκατομμύρια χρόνια πριν. Στο πέρασμα των αιώνων έχουν διατυπωθεί πολλές ‘θεωρίες καταστροφής’ αλλά όλες έχουν, ευτυχώς, διαψευστεί. Το πιο πρόσφατο παράδειγμα είναι η περίπτωση του κομήτη Ελενίν: ονομάστηκε “ο κομήτης της συντέλειας του Κόσμου” και συνδέθηκε με το ημερολόγιο των Μάγια που προέβλεπε το τέλος του κόσμου στις 21.12.2012. Τελικά, ο κομήτης Ελενίν πλησίασε την Γη σε απόσταση 35 εκατομμυρίων χιλιομέτρων στις 16.10.2012, χωρίς να αποτελέσει ποτέ κίνδυνο για τον πλανήτη μας. Η αλήθεια είναι ότι το τέλος του κόσμου μας μπορεί να έρθει οποτεδήποτε και μάλιστα χωρίς αυτό να προβλεφθεί από κανέναν.

## 5 Ταξίδια στο Σύμπαν

Πριν να γνωρίσουμε τα πιο μυστηριώδη αντικείμενα της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας, ας πούμε μερικά λόγια για το ποια είναι η κατάληξη των αστέρων όταν οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στο εσωτερικό τους, λόγω έλλειψης καυσίμου, σταματήσουν. Υπό την δράση της βαρυτικής έλξης που ασκεί στον ίδιο του τον εαυτό, ο αστέρας τότε καταρρέει. Εάν η μάζα του είναι μικρότερη από 1.4 φορές την μάζα του ήλιου, ο αστέρας μετατρέπεται σε λευκό νάνο, ένα ήρεμο αστέρα χαμηλής επιφανειακής θερμοκρασίας. Εάν η μάζα του είναι μεταξύ 1.4 και 3.5 φορές την μάζα του ήλιου, ο αστέρας μετατρέπεται σε αστέρα νετρονίων, έναν αρχετά ενεργό αστέρα συχνά περιστρεφόμενο με ισχυρό μαγνητικό πεδίο.

Εάν όμως η μάζα του  $M$  υπερβαίνει το όριο του 3.5 φορές την μάζα του ήλιου, η βαρυτική κατάρρευση συνεχίζεται μέχρι το άστρο να συρρικνωθεί σε ένα και μοναδικό σημείο. Η κατάσταση αυτή της ύλης αποτελεί μια Μαύρη Οπή. Ένας εξωτερικός



Σχήμα 4: Καλλιτεχνικές απεικονίσεις (α) μιας Μαύρης Οπής, και (β) ενός Χωροχρονικού Τούνελ.

παρατηρητής δεν μπορεί να δει τίποτα από μια σφαιρική περιοχή ακτίνας  $R = 2M$  (για τον Ήλιο μας,  $R = 2$  χιλιόμετρα) (Σχήμα 4α). Μάλιστα, οποιοδήποτε σώμα περάσει την ακτίνα αυτή, που καλείται ‘ορίζοντας γεγονότων’, δεν μπορεί ποτέ να γυρίσει πίσω. Ακόμα και τα φωτόνια, τα ελαφρύτερα και ταχύτερα κινούμενα σωματίδια στη φύση, δεν μπορούν να ξεφύγουν από τη βαρυτική έλξη μιας μαύρης οπής. Οι μαύρες οπές είναι εξαιρετικά δύσκολο να ανιχνευθούν άμεσα μια που δεν εκπέμπουν ακτινοβολία. Από έμμεσες όμως ενδείξεις, σήμερα πιστεύουμε ότι μαύρες οπές υπάρχουν στα κέντρα των γαλαξιών (όπως του δικού μας) αλλά και σε αστρικά διπλά συστήματα.

Στο εσωτερικό μιας μαύρης οπής χρύβεται μια χωροχρονική ιδιομορφία άπειρης πυκνότητας ύλης. ‘Όχι όμως πάντα, μια που η περιοχή μέσα από τον ορίζοντα δεν είναι στατική αλλά εξελίσσεται με τον χρόνο: στη θέση της ιδιομορφίας ένας ‘λαιμός’ εμφανίζεται, ζει για λίγο και εξαφανίζεται αφήνοντας και πάλι στην θέση του μια ιδιομορφία. Ο λαιμός αυτός μπορεί να συνδέει μια περιοχή του σύμπαντός μας με μια άλλη απομακρυσμένη περιοχή που, μέσω συμβατικών μεθόδων, δεν θα μπορούσαμε ποτέ να φτάσουμε (Σχήμα 4β) ή ακόμα με μια περιοχή ενός άλλου σύμπαντος! Το πέρασμα αυτό ονομάστηκε ‘γέφυρα Αινστάιν-Ρόουζεν’ (1935) ή χωροχρονικό τούνελ ή σκουληκότρυπα.

Δυστυχώς, όμως, ένα τέτοιο χωροχρονικό τούνελ δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα διαστημικά ταξίδια του μέλλοντος: ο λαιμός ανοίγει και κλείνει τόσο γρήγορα που ούτε ένα φωτόνιο δεν προλαβαίνει να περάσει – επιπλέον, το σημείο εξόδου από το τούνελ είναι ασταθές. Στα 1980, προτάθηκε η ιδέα ότι για να είναι ένα χωροχρονικό τούνελ ‘διασχίσιμο’, θα πρέπει να μην συνδέεται καθόλου με μια μαύρη οπή. Στα πλαίσια της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας, τέτοιες λύσεις υπάρχουν και μάλιστα ο λαιμός παραμένει ανοιχτός για όσο χρονικό διάστημα θέλουμε. Οι λύσεις όμως αυτές απαιτούν την παρουσία μιας εξωτικής μορφής ύλης, που δεν έχει παρατηρηθεί ποτέ στο σύμπαν, κατανευμένης γύρω από τον λαιμό του τούνελ.

Ίσως το ερώτημα της ύπαρξης ενός διασχίσιμου χωροχρονικού τούνελ να μπορεί να απαντηθεί στα πλαίσια μιας θεωρίας πέρα από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας. Η Θεωρία των Υπερχορδών είναι μια γεωμετρική θεωρία που ανάγεται στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας στις χαμηλές ενέργειες – απαιτεί όμως την ύπαρξη 6 επιπλέον χωρικών διαστάσεων στην φύση, με πολύ μικρό μέγεθος ώστε να μην παρατηρούνται. Στα πλαίσια της θεωρίας αυτής, βρέθηκαν το 2011 λύσεις χωροχρονικών τούνελ που δεν απαιτούν εξωτική ύλη, είναι διασχίσιμες από σωματίδια και μπορεί να είναι όσο μεγάλες θέλουμε. Η πραγματοποίηση όμως διαστημικών ταξιδιών απέχει πολύ από την

πραγματικότητα – το ανθρώπινο γένος θα πρέπει είτε να προαχθεί τεχνολογικά ώστε να μπορέσει να κατασκευάσει ένα χωροχρονικό τούνελ ή να μπορέσει να βρει ένα τέτοιο τούνελ που δημιουργήθηκε αυθόρυμητα μέσα στο σύμπαν. Όσο για την δυνατότητα πραγματοποίησης ταξιδιών στον χρόνο, η απάντηση είναι ξεχάθαρη: τόσο η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας όσο και η θεωρία των υπερχορδών επιτρέπουν στον παρατηρητή να βγει από το τούνελ σε διαφορετικές χρονικές στιγμές χωρίς όμως να παραβιάζεται η αρχή της αιτιότητας (“το αίτιο προηγείται πάντοτε του αποτελέσματος”).

Εάν όντως υπάρχουν επιπλέον χωρικές διαστάσεις στην φύση, πώς επηρεάζονται οι μαύρες οπές; Μια πολυδιάστατη μαύρη οπή διαφέρει σημαντικά από μια 4-διάστατη – π.χ. μια πολυδιάστατη μαύρη οπή με μάζα 5000 φορές τη μάζα του πρωτονίου, έχει  $10^{31}$  φορές μεγαλύτερη ακτίνα ορίζοντα από μια 4-διάστατη μαύρη οπή ίδιας μάζας! Αυτό σημαίνει ότι η δημιουργία μιας μαύρης οπής είναι πολύ πιο εύκολη εάν υπάρχουν επιπλέον χωρικές διαστάσεις στην φύση. Θα μπορούσε να κατασκευάσει άραγε ο άνθρωπος μια μαύρη οπή; Πιθανώς! Η ιδέα προτάθηκε το 1999 και αφορούσε επίγειους επιταχυντές (όπως ο Large Hadron Collider του CERN) όπου σωματίδια συγκρούονται μεταξύ τους με τεράστιες ταχύτητες. Αντίθετα με τις αστροφυσικές μαύρες οπές, οι μικρές αυτές μαύρες οπές θα μπορούσαν να ανιχνευθούν άμεσα λόγω της ακτινοβολίας Hawking που εκπέμπουν.

## 6 Συμπεράσματα

Η βαρυτική δύναμη είναι αδιαμφισβήτητα η πιο μυστηριώδης και η πιο ανεξερεύνητη δύναμη της φύσης. Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας είναι η πληρέστερη θεωρία βαρύτητας που διαθέτουμε σήμερα. Μπορεί να προβλέψει την εξέλιξη ολόχληρου του Σύμπαντος από τη στιγμή της δημιουργίας του μέχρι και το απώτερο μέλλον. Προβλέπει όμως και την ύπαρξη μυστηριωδών λύσεων όπως οι μαύρες οπές και τα χωροχρονικά τούνελ. Οι σύχρονες μελέτες επικεντρώνονται πια σε εναλλακτικές θεωρίες βαρύτητας, όπως η θεωρία των υπερχορδών, καθώς και στις συνέπειες που αυτές μπορεί να έχουν.

**Ευχαριστίες.** Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Ιστορική και Λαογραφική Εταιρεία Γιαννιτσών “Ο Φίλιππος” για την τιμή που μου έκανε να με συμπεριλάβει στους ομιλητές του Ανοιχτού Λαικού Πανεπιστημίου του Δήμου Πέλλας καθώς και για την ιδιαίτερα θερμή υποδοχή που μου επιφύλαξαν.

### Βιβλιογραφία

- [1] “*Gravity: An Introduction to Einstein’s General Relativity*”, J. Hartle, Addison Wesley, 2003.
- [2] “*Portal to Another Universe*”, New Scientist, issue of 10th March 2011.
- [3] “*Wormholes in Dilatonic Einstein-Gauss-Bonnet Theory*”, P. Kanti, B. Kleihaus and J. Kunz, Phys. Rev. Lett. **107** (2011) 271101.
- [4] “*Black Holes in Theories with Large Extra Dimensions: a Review*”, P. Kanti, Int. J. Mod. Phys. A **19** (2004) 4899.