

Ταξίδια στο Σύμπαν μέσα στο Χώρο και στο Χρόνο

Παναγιώτα Καντή

Τομέας Θεωρητικής Φυσικής, Τμήμα Φυσικής,
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Ιστορική και Λαογραφική Εταιρεία Γιαννιτσών
“Ο Φίλιππος”
11 Φεβρουαρίου 2013

Δομή της Ομιλίας:

- Οι Δυνάμεις της Φύσης
- Η Βαρυτική Δύναμη
 - Η Θεωρία του Νεύτωνα
 - Η Θεωρία του Αινστάιν
- Το Σύμπαν: Από πού **ξεχίνησε** και πώς θα **τελειώσει**;
- Μπορούμε να κάνουμε **ταξίδια** στο **χώρο** και στο **χρόνο**;
 - Μαύρες Οπές και Χωροχρονικά Τούνελ

Οι Δυνάμεις της Φύσης

- Φυσική: Η Επιστήμη που μελετά τα Φυσικά Φαινόμενα και περιγράφει τον **Κόσμο** γύρω μας



Οι Δυνάμεις της Φύσης

- Η **Φυσική** μπορεί να εξηγήσει:
 - το γιατί ο ήλιος λάμπει
 - το γιατί υπάρχει η μέρα και η νύχτα
 - το χρώμα του ουρανού ή των δέντρων
 - τη δημιουργία των σύννεφων, της βροχής ή του χιονιού
 - το γιατί τα πλοία επιπλέουν και τα πουλιά πετούν
 - το πώς χινούνται τα πλοία και πώς περπατούν οι άνθρωποι..
- 'Όλα τα **Φυσικά Φαινόμενα** είναι εκδηλώσεις της δράσης των τεσσάρων βασικών δυνάμεων της Φύσης

Οι Δυνάμεις της Φύσης

- Ηλεκτρομαγνητική Δύναμη: Αρχικά θεωρούνταν δύο διαφορετικές δυνάμεις: η ηλεκτρική και η μαγνητική



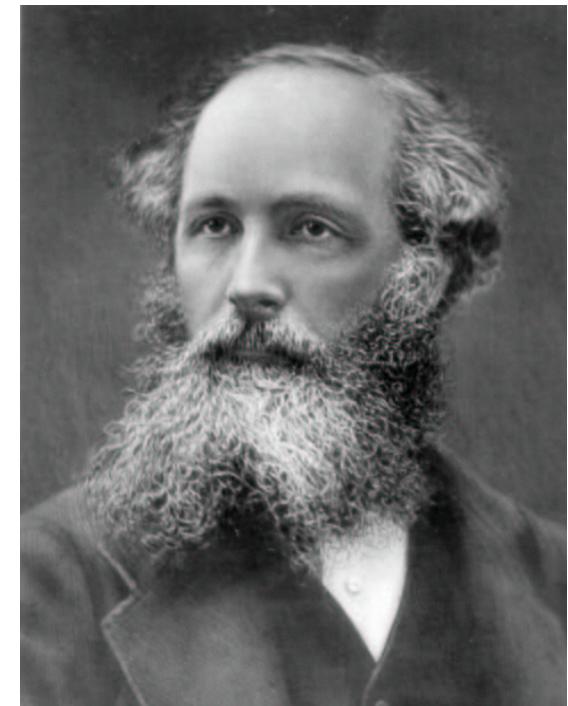
Στην αρχαία Ελλάδα, ο ηλεκτρισμός μελετήθηκε για πρώτη φορά από τον Θαλή τον Μιλήσιο τον 6ο αι. π.Χ. ο οποίος εισήγαγε και την έννοια του μαγνητισμού σαν ιδιότητα της ύλης.

Οι Δυνάμεις της Φύσης

- Ο **ηλεκτρισμός** ήταν γνωστός στους αρχαίους **Αιγύπτιους** ενώ ο **μαγνητισμός** μελετήθηκε από τους **Ινδούς** και **Κινέζους**

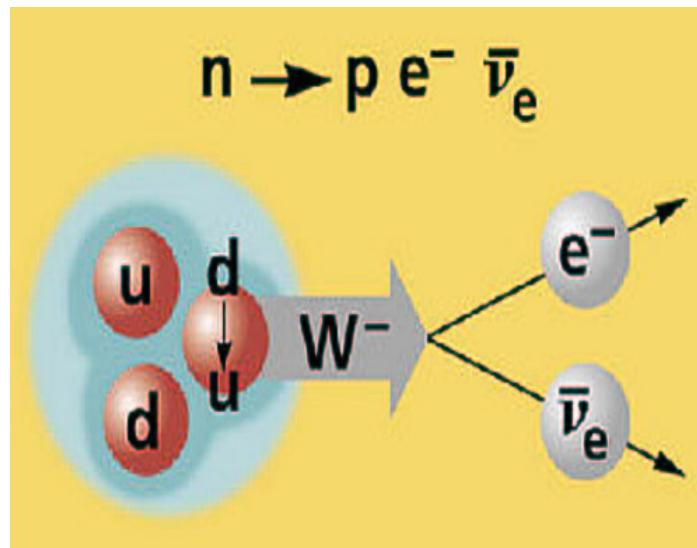
Τον 19ο αι. ανακαλύφθηκε ότι το ένα φαινόμενο προκαλεί το άλλο και έτσι ενσωματώθηκαν σε μία δύναμη, την **ηλεκτρομαγνητική**, με τη θεωρία του **Τζέιμς Κλερκ Μάξγουελ** το 1861

Η δύναμη αυτή είναι υπεύθυνη για: το φως του ήλιου, το χρώμα των σωμάτων, την αίσθηση της όρασης αλλά και για όλες τις μηχανικές δυνάμεις της καθημερινής μας ζωής



Οι Δυνάμεις της Φύσης

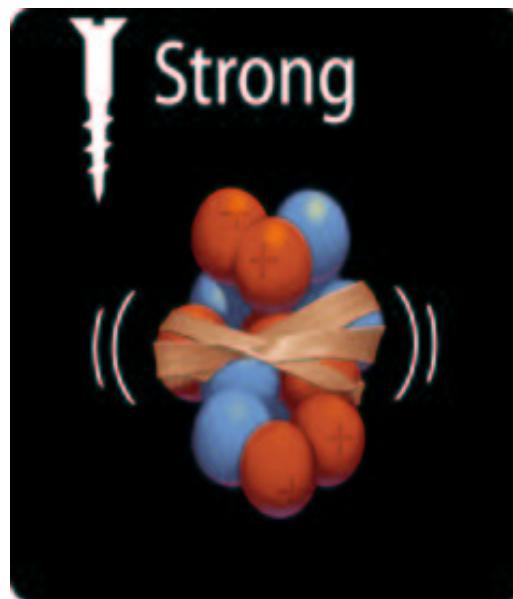
- Η Ασθενής Πυρηνική Δύναμη: Είναι μια δύναμη πολύ μικρής εμβέλειας και για τον λόγο αυτό την συναντούμε μόνο στο επίπεδο των στοιχειωδών σωματιδίων



Είναι υπεύθυνη για την μετατροπή π.χ. του νετρονίου σε πρωτόνιο, και αποτελεί την βάση της πηγής ενέργειας του ήλιου και του φαινομένου της ραδιενέργειας

Οι Δυνάμεις της Φύσης

- Η Ισχυρή Πυρηνική Δύναμη: Είναι επίσης πολύ μικρής εμβέλειας - σκοπός της να κρατά ενωμένα τα πρωτόνια και νετρόνια μέσα στους πυρήνες των ατόμων



Είναι επομένως υπεύθυνη για την σταθερότητα του πυρήνα του ατόμου και την ύπαρξη της ίδιας της ζωής

Οι Δυνάμεις της Φύσης

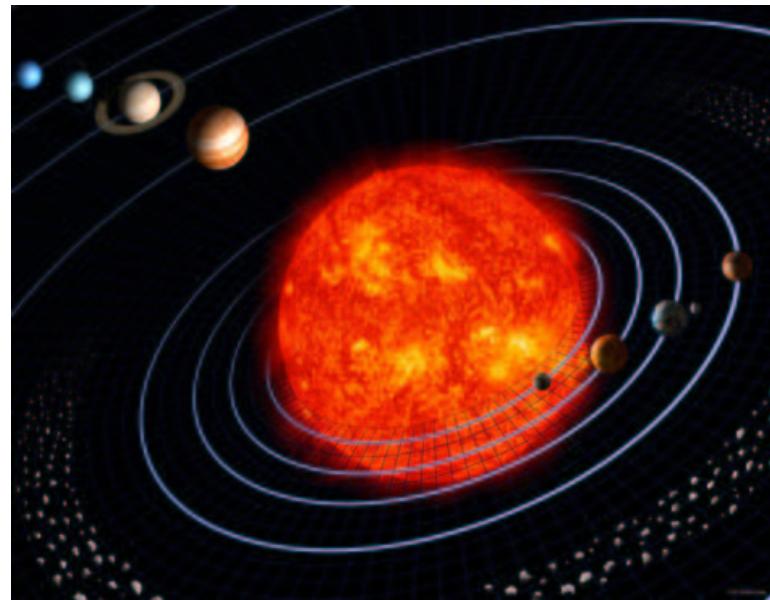
- Στα 1960 η ηλεκτρομαγνητική και η ασθενής ενοποιήθηκαν στην **ηλεκτρασθενή δύναμη** (Βραβείο Νόμπελ Φυσικής 1979)
- Το 1973 διατυπώθηκε και η θεωρία της ισχυρής πυρηνικής δύναμης (Βραβείο Νόμπελ Φυσικής 2004)

Οι τρεις αυτές δυνάμεις περιγράφονται πλέον με μια κοινή μαθηματική θεωρία, το **Καθιερωμένο Πρότυπο των Στοιχειωδών Σωματιδίων**

- Μια Τελική Θεωρία που θα ενοποιεί όλες τις δυνάμεις της φύσης σε ένα κοινό μαθηματικό πλαίσιο δεν υπάρχει, αφού...
... η τέταρτη δύναμη, η **βαρυτική**, παρουσιάζει ιδιαιτερότητες

Η Βαρυτική Δύναμη

- Είναι **ανύπαρχη** στο επίπεδο των στοιχειωδών σωματιδίων αλλά **χυρίαρχη** στον μακρόχοσμο

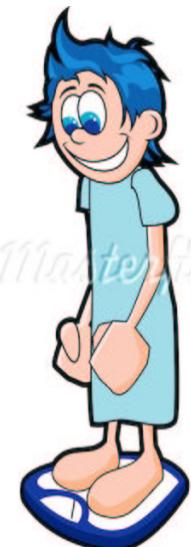


Είναι η δύναμη που μας χρατά δέσμιους στην επιφάνεια της Γης αλλά και τους πλανήτες σε τροχιές γύρω από τον Ήλιο

Η Βαρυτική Δύναμη

- Η μαθηματική θεωρία που περιγράφει την **Βαρυτική δύναμη** αναπτύχθηκε από τον **Ισαάχ Νεύτωνα** (1686) – ο **παγκόσμιος νόμος της βαρύτητας** έχει την μορφή:

$$F = G_N \frac{M_1 M_2}{r^2}$$



Did you know? Sir Isaac Newton was born on January 4, 1643. He was a leader of the scientific revolution of the 17th century. Newton was a physicist and mathematician who laid the foundations of calculus. He studied planetary motion and is famous for discovering the law of gravity.

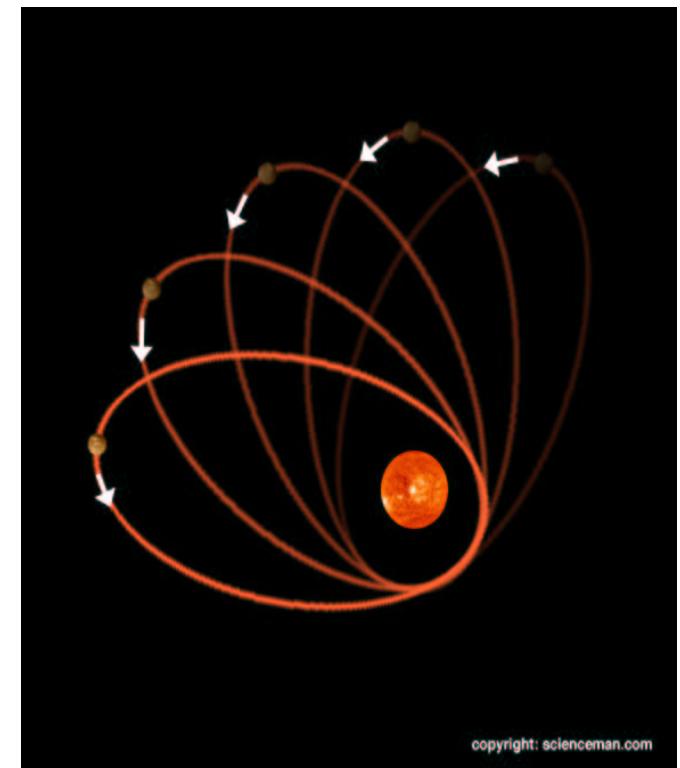
Η Βαρυτική Δύναμη

- Η θεωρία του Νεύτωνα ήταν συμβατή με τις παρατηρήσεις του **Τύχο Μπραχέ** (1580) αλλά και τους εμπειρικούς νόμους του **Γιόχαν Κέπλερ** (1609) για την κίνηση των πλανητών.

Εκτός ... από αυτή του πλανήτη **Ερμή**,
ο οποίος εκτελεί μια περίεργη τροχιά
στον ουρανό – η τροχιά του Ερμή
γύρω από τον Ήλιο ‘μεταπίπτει’

Η μετάπτωση βρέθηκε να είναι ίση με
0.164 μοίρες κάθε 100 χρόνια!

Η θεωρία του Νεύτωνα προέβλεπε
0.151 μοίρες κάθε 100 χρόνια.... (:)



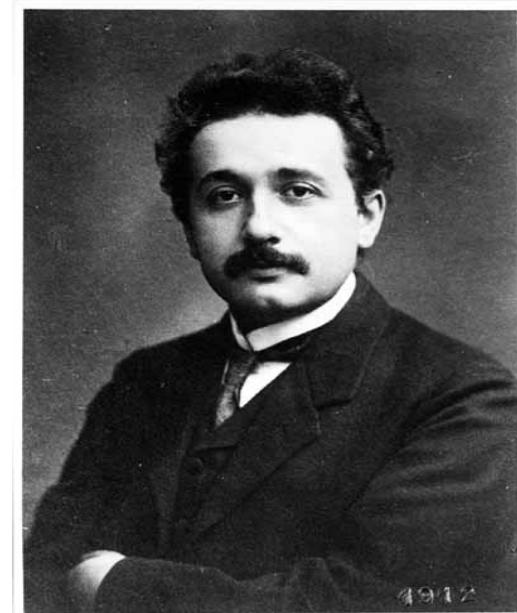
copyright: scienceman.com

Η Βαρυτική Δύναμη

- Η θεωρία του Νεύτωνα δεν ήταν όσο ακριβής θα θέλαμε ειδικά σε περιοχές έντονου βαρυτικού πεδίου

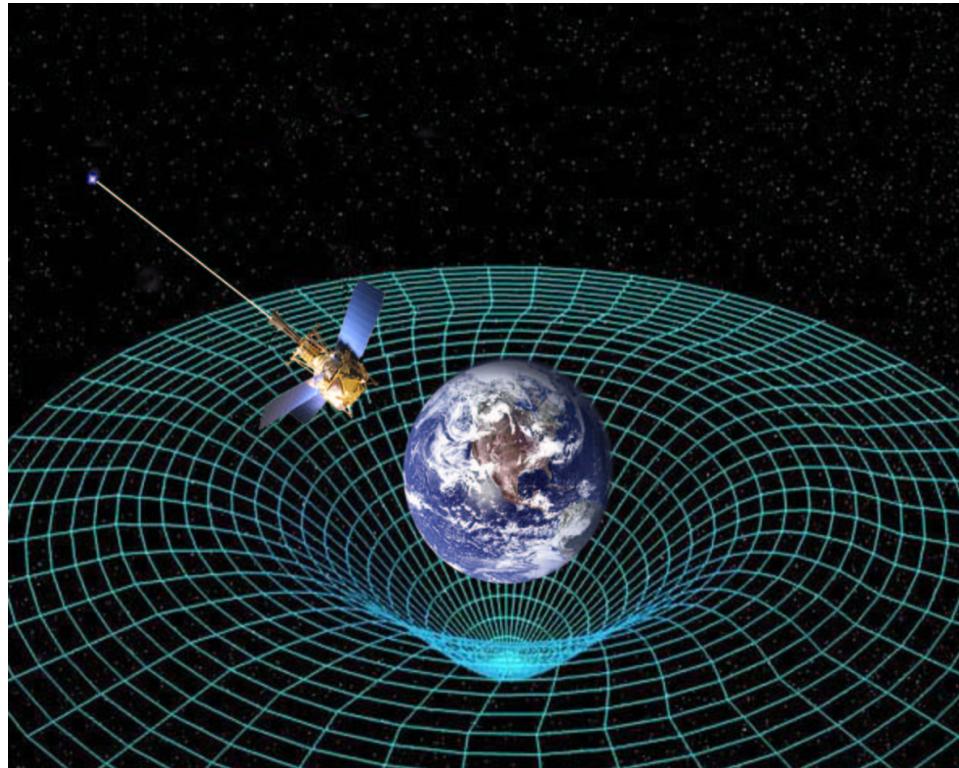
Ποιος όμως θα μπορούσε να φτιάξει μια καινούρια θεωρία για τη βαρύτητα η οποία δεν θα ακύρωνε αυτή του Νεύτωνα αλλά θα την βελτίωνε;

- Ο Αλβέρτος Αινστάιν το 1905 είχε ήδη διατυπώσει την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας – αυτή προέβλεπε ότι ο χώρος και ο χρόνος δημιουργούν τον χωρόχρονο μέσα στον οποίο λαμβάνουν χώρα τα διάφορα γεγονότα



Η Βαρυτική Δύναμη

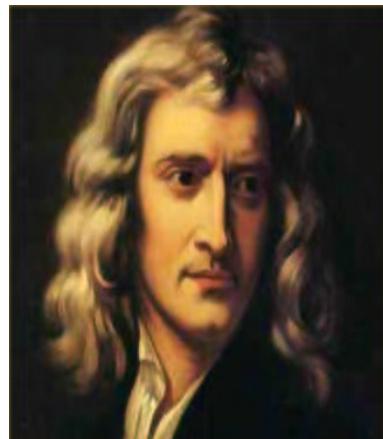
- Το 1915 ο Αινστάιν διατύπωσε την **Γενική Θεωρία της Σχετικότητας** που συνδυάζει το χωρόχρονο με τη βαρύτητα



- Συνδέει την **χαμπυλότητα** του χωρόχρονου με την **ύλη**

Η Βαρυτική Δύναμη

- Ο Αινστάιν προέβλεψε ακριβώς την **μετάπτωση** του Ερμή



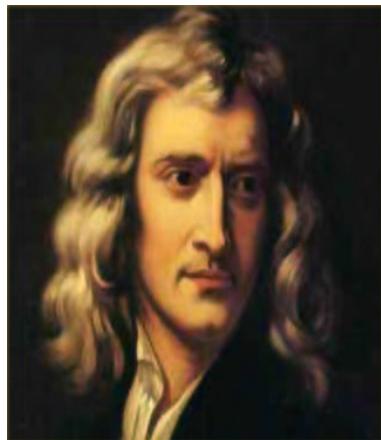
0

—

1

Η Βαρυτική Δύναμη

- Ο Αινστάιν προέβλεψε ακριβώς την **μετάπτωση** του Ήρμη
- Προέβλεψε την **εκτροπή** ακτίνων φωτός από τον Ήλιο



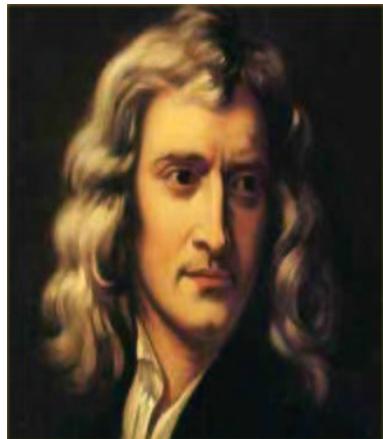
0

—

2

Η Βαρυτική Δύναμη

- Ο Αινστάιν προέβλεψε ακριβώς την **μετάπτωση** του Ερμή
- Προέβλεψε την **εκτροπή** ακτίνων φωτός από τον Ήλιο
- Προέβλεψε την βαρυτική **εξασθένηση** του φωτός



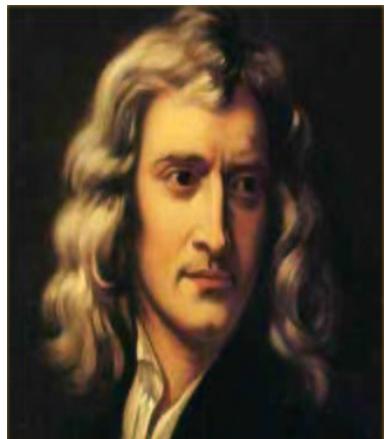
0

—

3

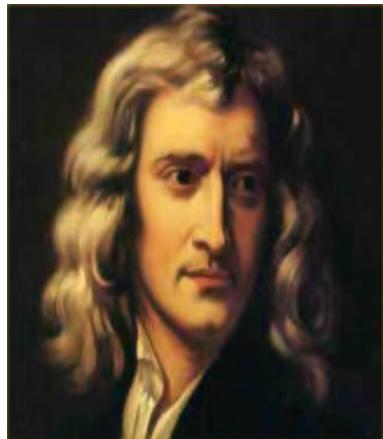
Η Βαρυτική Δύναμη

- Ο Αινστάιν προέβλεψε ακριβώς την **μετάπτωση** του Ήρμη
- Προέβλεψε την **εκτροπή** ακτίνων φωτός από τον Ήλιο
- Προέβλεψε την βαρυτική **εξασθένηση** του φωτός
- Προέβλεψε το φαινόμενο των **πολλαπλών ειδώλων**



Η Βαρυτική Δύναμη

- Ο Αινστάιν προέβλεψε ακριβώς την **μετάπτωση** του Ερμή
- Προέβλεψε την **εκτροπή** ακτίνων φωτός από τον Ήλιο
- Προέβλεψε την βαρυτική **εξασθένηση** του φωτός
- Προέβλεψε το φαινόμενο των **πολλαπλών ειδώλων**
- Προέβλεψε τη βαρυτική **χαθυστέρηση** των ραδιοχυμάτων



0

—

5

Η Εξέλιξη του Σύμπαντος

- Το μεγαλύτερο βαρυτικό σύστημα είναι το ίδιο το **σύμπαν**



- Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας προβλέπει την **εξέλιξη** του στο χρόνο: από πού **ξεχίνησε**, πώς **εξελίσσεται**, πώς θα **τελειώσει**

Η Εξέλιξη του Σύμπαντος

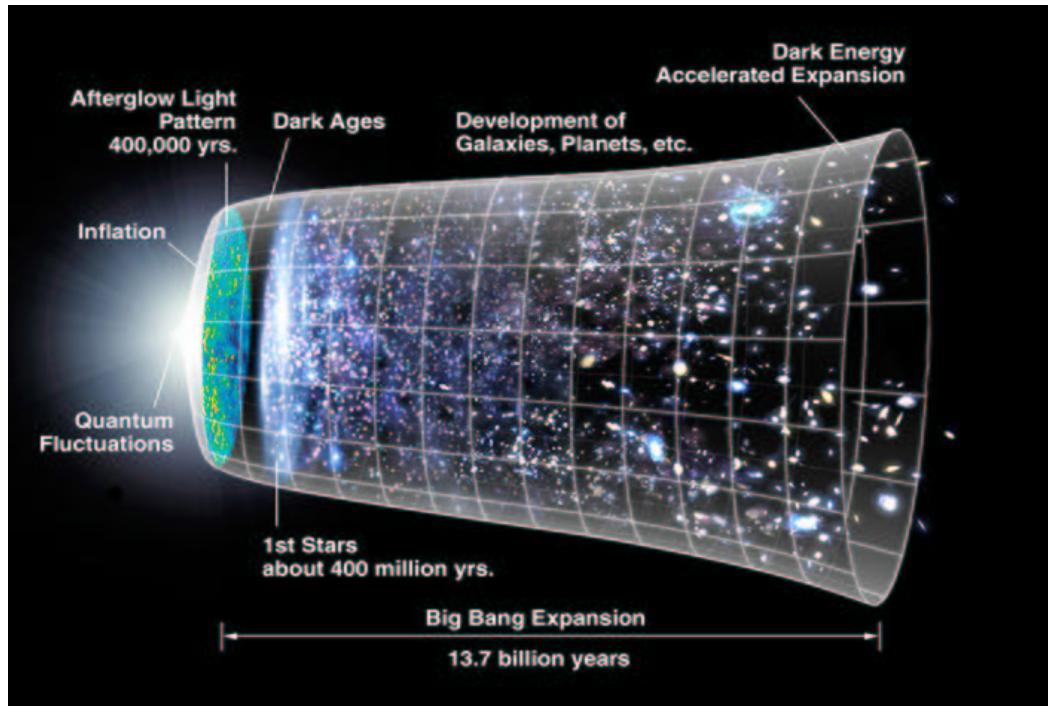
- Σύμφωνα με τη Γ.Θ.Σ, το σύμπαν μας δεν είναι **στατικό** αλλά **διαστέλλεται** με τον χρόνο (Εντγουιν Χαμπλ, 1928)



- Επίσης, προβλέπει ότι το σύμπαν ξεχίνησε από μια **Αρχική Ιδιομορφία** (**Big Bang**), ένα σημείο άπειρης πυχνότητας ύλης και άπειρης θερμοκρασίας

Η Εξέλιξη του Σύμπαντος

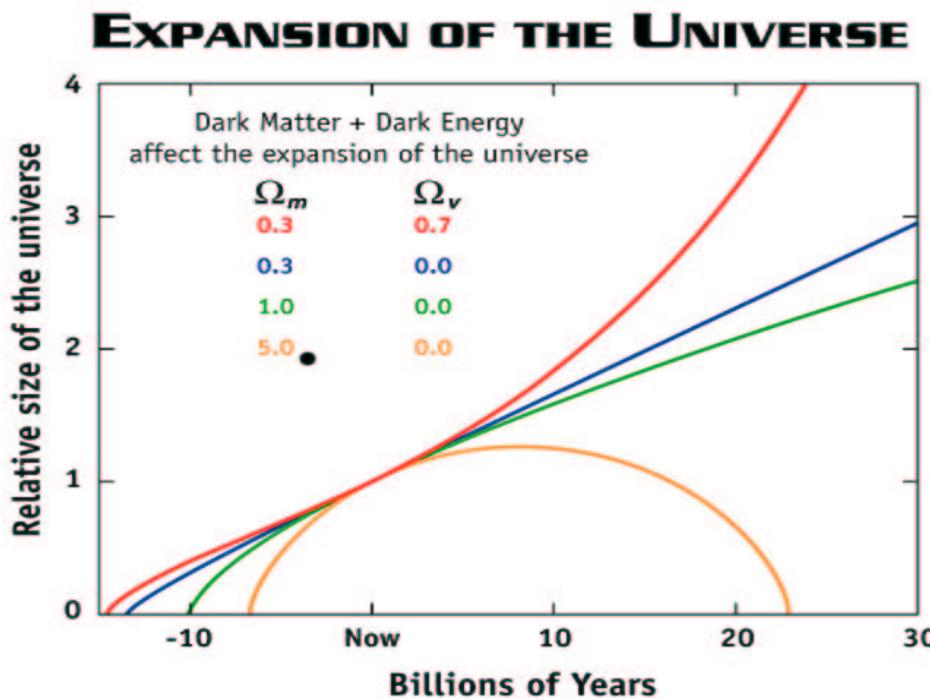
- Το σύμπαν, χατά τη διαστολή του, πέρασε από τις φάσεις της δημιουργίας των πυρήνων, των ατόμων, των αστέρων και των γαλαξιών



- Σήμερα το σύμπαν έχει ηλικία 13.7 δισεκατομμυρίων ετών

Η Εξέλιξη του Σύμπαντος

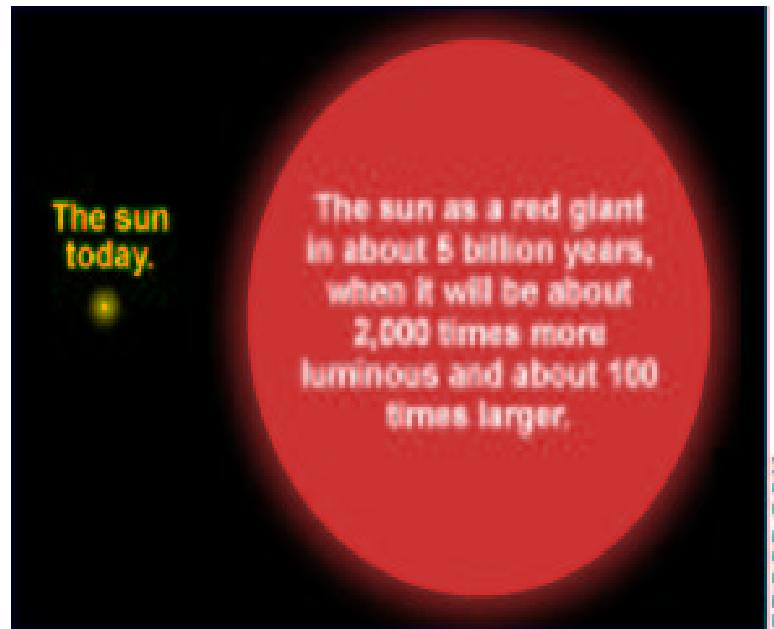
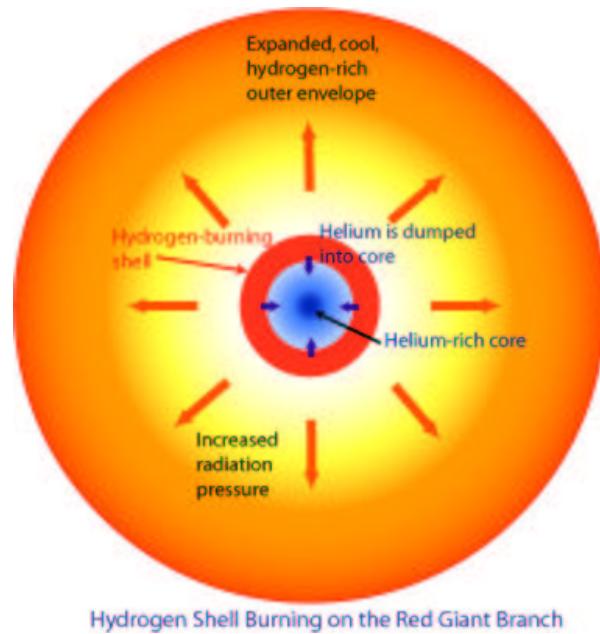
- Ποια θα είναι η μελλοντική εξέλιξη του σύμπαντος; Αυτό εξαρτάται από την συγχέντρωση ύλης και ενέργειας χενού



- Οι σημερινές παρατηρήσεις, 30% ορατή + σκοτεινή ύλη και 70% σκοτεινή ενέργεια, προβλέπουν διαστολή επ' άπειρον

Η Εξέλιξη του Σύμπαντος

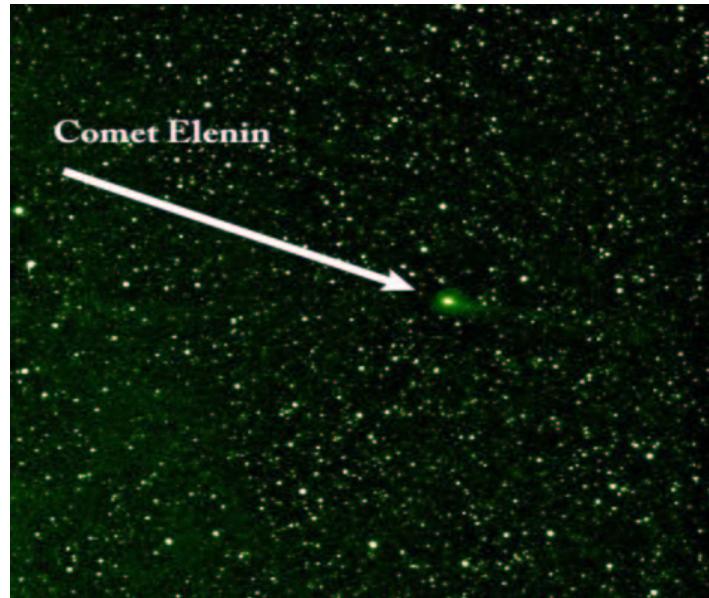
- Σε 5 δισεκατομμύρια χρόνια, ο Ήλιος θα μπει στη φάση του **χόκκινου γίγαντα** και η ακτίνα του θα 100-πλασιαστεί



- Ο Ήλιος θα καλύψει όλο το Ηλιακό Σύστημα μέχρι και την τροχιά της Γης και κάθε μορφή ζωής θα **εξαφανιστεί**

Η Εξέλιξη του Σύμπαντος

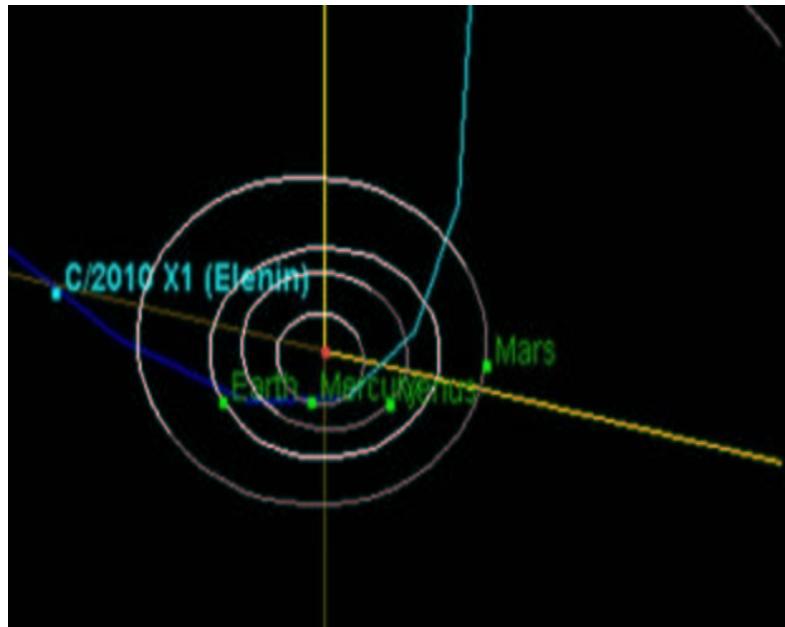
- Όμως, πριν από αυτό, μια τυχαία σύγχρουση ενός **χομήτη** με την Γη μπορεί να αποβεί **μοιραία** για το ανθρώπινο γένος



- Ο **Κομήτης 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**

Η Εξέλιξη του Σύμπαντος

- Τελικά, ο κομήτης **Ελενίν** πλησίασε την Γη σε απόσταση 35 εκατομμυρίων χιλιομέτρων στις **16.10.2012**

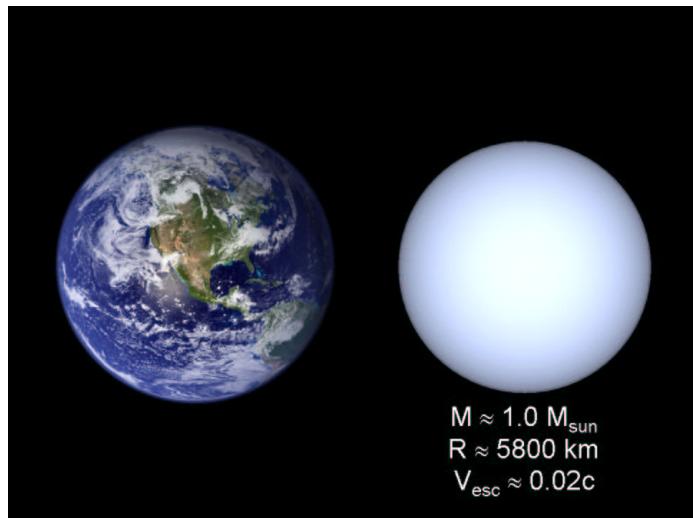


- Το τέλος του κόσμου μας μπορεί να έρθει **οποτεδήποτε** και μάλιστα χωρίς αυτό να προβλεφθεί από **χανέναν...**

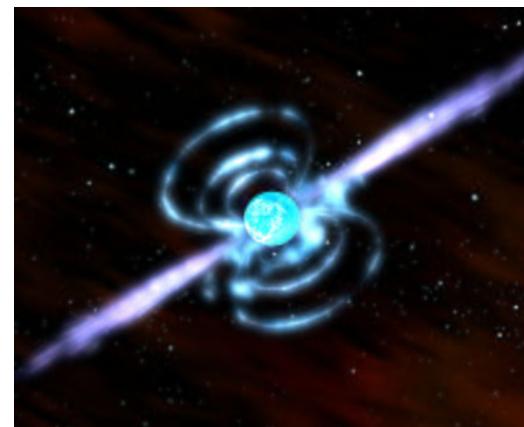
Ταξίδια στο Σύμπαν

- Όταν οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σταματήσουν, ο αστέρας καταρρέει – εάν η μάζα του είναι:

- μικρότερη από 1.4 φορές την μάζα του ήλιου, ο αστέρας μετατρέπεται σε λευκό νάνο (η τελική φάση της ζωής του Ήλιου μας)

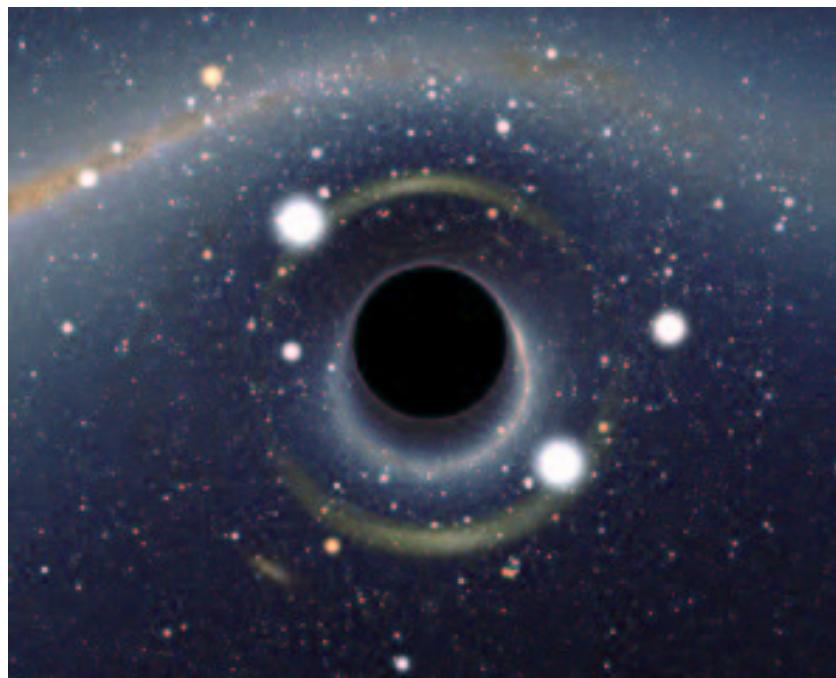


- μεταξύ 1.4 και 3.5 φορές την μάζα του ήλιου, ο αστέρας μετατρέπεται σε αστέρα νετρονίων



Ταξίδια στο Σύμπαν

- Εάν όμως η μάζα του υπερβαίνει το όριο του **3.5** φορές την μάζα του ήλιου, η βαρυτική κατάρρευση συνεχίζεται μέχρι το άστρο να συρρικνωθεί σε ένα **σημείο**

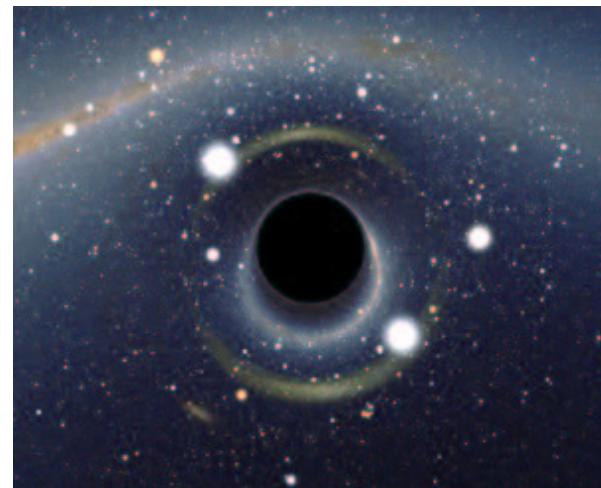


Η κατάσταση αυτή της ύλης αποτελεί μια Μαύρη Οπή

Ταξίδια στο Σύμπαν

- Ένας εξωτερικός παρατηρητής δεν μπορεί να δει τίποτα από μια **σφαιρική περιοχή** ακτίνας $R = 2M$ (για τον Ήλιο μας, $R = 2$ χιλιόμετρα)

Οποιοδήποτε σώμα περάσει την ακτίνα αυτή, που καλείται **ορίζοντας γεγονότων** δεν μπορεί ποτέ να γυρίσει πίσω

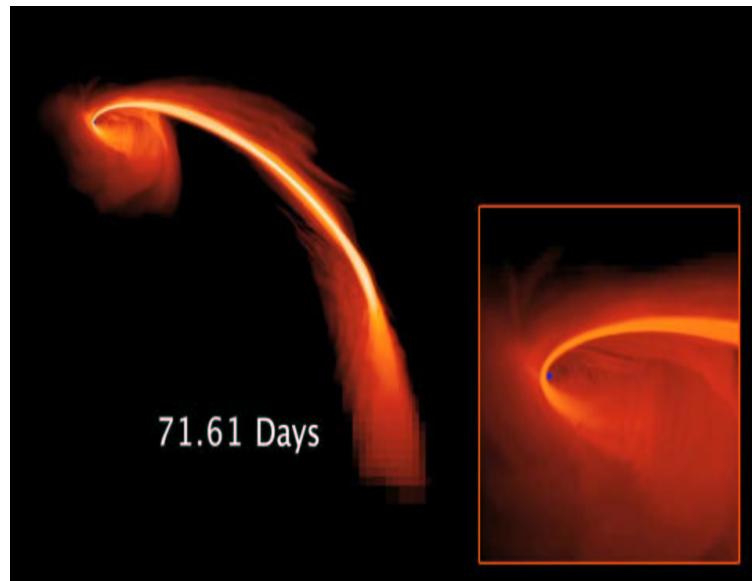


Ακόμα και τα **φωτόνια**, τα ελαφρύτερα και ταχύτερα κινούμενα σωματίδια στη φύση, δεν μπορούν να ξεφύγουν από τη βαρυτική έλξη μιας μαύρης οπής

Ταξίδια στο Σύμπαν

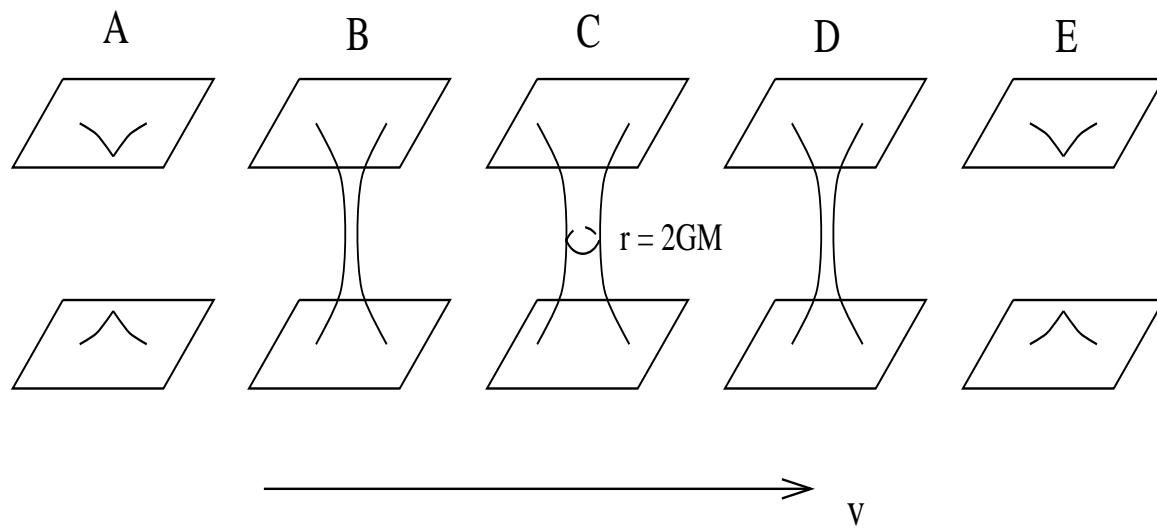
- Είναι εξαιρετικά δύσκολο να ανιχνευθούν **άμεσα** μια που δεν εκπέμπουν ακτινοβολία (“σκοτεινά αντικείμενα”)

Από έμμεσες ενδείξεις, σήμερα πιστεύουμε ότι Μαύρες Οπές υπάρχουν στα χέντρα των **Γαλαξιών** (όπως του δικού μας) αλλά και σε **αστρικά διπλά συστήματα**



Ταξίδια στο Σύμπαν

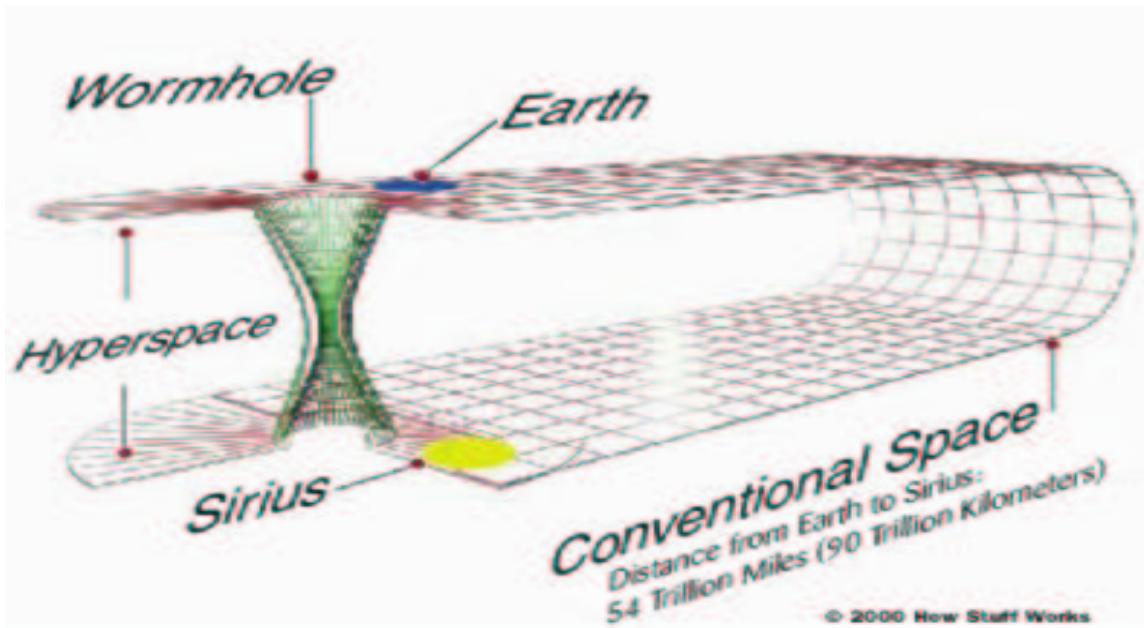
- Τί χρύβεται όμως στο **εσωτερικό** μιας Μαύρης Οπής;
Σύμφωνα με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, μια **χωροχρονική ιδιομορφία** άπειρης πυχνότητας. Πάντα...;



Όχι, ακριβώς... Το εσωτερικό μιας Μαύρης Οπής δεν είναι **στατικό**: στη θέση της ιδιομορφίας ένας **‘λαιμός’** εμφανίζεται, ζει για λίγο και εξαφανίζεται

Ταξίδια στο Σύμπαν

- Ο λαιμός συνδέει μια περιοχή του σύμπαντός μας με μια άλλη **απομακρυσμένη περιοχή** που δεν θα μπορούσαμε ποτέ να φτάσουμε.... ή με μια περιοχή ενός άλλου σύμπαντος!



Το πέρασμα αυτό ονομάστηκε γέφυρα Αινστάιν-Ρόουζεν (1935) ή **χωροχρονικό τούνελ** ή **σκουληχότρυπα**

Ταξίδια στο Σύμπαν

- Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα **χωροχρονικό τούνελ** στο εσωτερικό μιας μαύρης οπής για γρήγορα διαστημικά ταξίδια; Δυστυχώς **όχι**, γιατί....
- Ο λαιμός ανοίγει και κλείνει τόσο **γρήγορα** που ούτε ένα φωτόνιο δεν προλαβαίνει να περάσει
- Το σημείο εξόδου από το τούνελ είναι **ασταθές**
- Οι βαρυτικές δυνάμεις στον ορίζοντα είναι **τεράστιες**

Άρα, το χωροχρονικό τούνελ μιας μαύρης οπής δεν είναι **‘διασχίσιμο’** ...

Ταξίδια στο Σύμπαν

- Στα 1980, προτάθηκε η ιδέα ότι ένα **ασφαλές** χωροχρονικό τούνελ πρέπει να **μην συνδέεται** καθόλου με μια Μαύρη Οπή

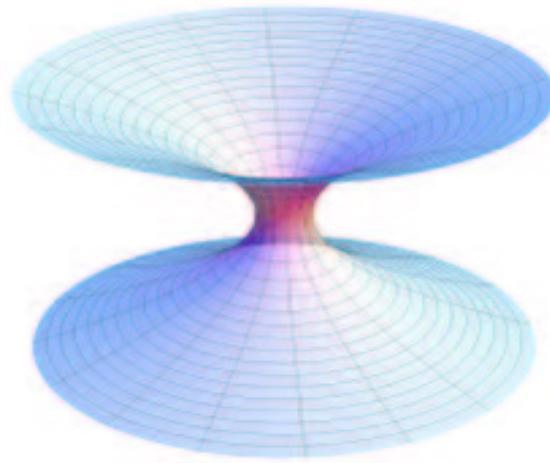
Στα πλαίσια της **Γενικής Θεωρίας**

της **Σχετικότητας**, αυτό απαιτεί

την ύπαρξη μιας **εξωτικής μορφής**

ύλης κατανεμημένης γύρω από

τον λαιμό του τούνελ



Η ύλη αυτή μπορεί να χρατά **ανοιχτό** τον λαιμό για όσο

χρονικό διάστημα θέλουμε - δυστυχώς όμως, δεν έχει

παρατηρηθεί **ποτέ** στο σύμπαν μας

(**Επιστημονική Φαντασία**; Contact, του Καρλ Σειγκαν, 1985)

Ταξίδια στο Σύμπαν

Τι υπάρχει πέρα από την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας;

- Η Θεωρία των Υπερχορδών – μια γεωμετρική Θεωρία που:
 - ανάγεται στη Γ.Θ.Σ. στις χαμηλές ενέργειες
 - περιγράφει και τις υπόλοιπες δυνάμεις της φύσης
 - απαιτεί 6 επιπλέον χωρικές διαστάσεις στην φύση, με πολύ μικρό μέγεθος ώστε να μην παρατηρούνται (έως τώρα τουλάχιστον)

Ότι φαίνεται εξωτικό στα πλαίσια της Γ.Θ.Σ. μπορεί να είναι φυσικά αποδεκτό στη θεωρία υπερχορδών ...

Ταξίδια στο Σύμπαν

- Και όντως, πρόσφατα (2011), στα πλαίσια της θεωρίας των υπερχορδών βρέθηκαν λύσεις χωροχρονικών τούνελ που:

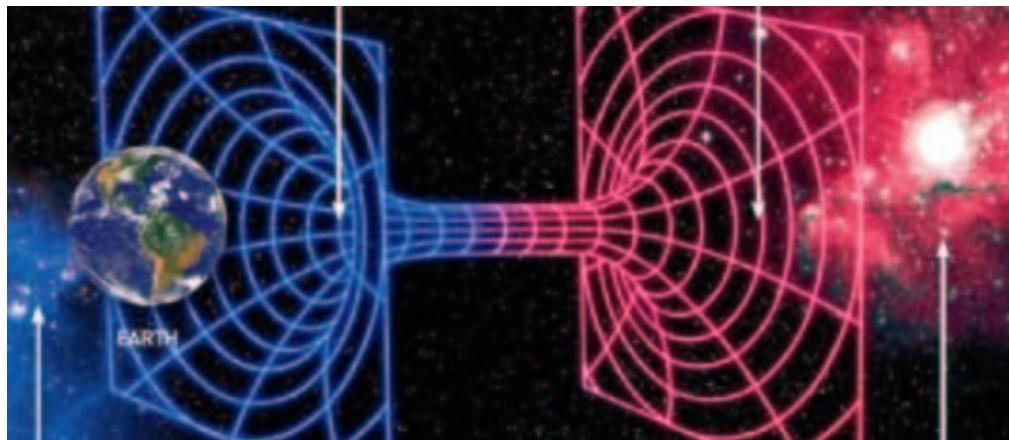
- δεν απαιτούν εξωτική ύλη
- είναι όσο μεγάλες θέλουμε
- είναι διασχίσιμες από σωματίδια
- είναι ευσταθείς σε διαταραχές



Μπορούμε επομένως να κάνουμε **ταξίδια** στο χωρόχρονο;
Θεωρητικά **ναι**, πρακτικά **όχι ακόμη...**

Ταξίδια στο Σύμπαν

... μια που πρέπει είτε να βρούμε ένα χωροχρονικό τούνελ που δημιουργήθηκε **αυθόρυμητα** μέσα στο σύμπαν είτε να προηχθούμε τεχνολογικά ώστε να το κατασχευάσουμε



- Και ταξίδια στο **χρόνο**; Τόσο η Γ.Θ.Σ όσο και η θεωρία των υπερχορδών επιτρέπουν στον παρατηρητή να βγει από το τούνελ σε διαφορετικές **χρονικές στιγμές**

Ταξίδια στο Σύμπαν

- Αν όμως υπάρχουν επιπλέον χωρικές διαστάσεις στην φύση, τότε αυτές θα επηρεάζουν και τις Μαύρες Οπές!

Σε τι διαφέρει μια πολυδιάστατη Μ.Ο. από μια 4-διάστατη;

Σε πολλά, μεταξύ αυτών στην ακτίνα του ορίζοντά της:

- Για μια 4-διάστατη Μ.Ο. με μάζα 5000 φορές τη μάζα του πρωτονίου, η ακτίνα του ορίζοντα είναι $R = 10^{-50}$ m
- Για μια πολυδιάστατη Μαύρη Οπή με την ίδια μάζα, ισχύει ότι $R = 10^{-19}$ m – πολύ μεγαλύτερη!

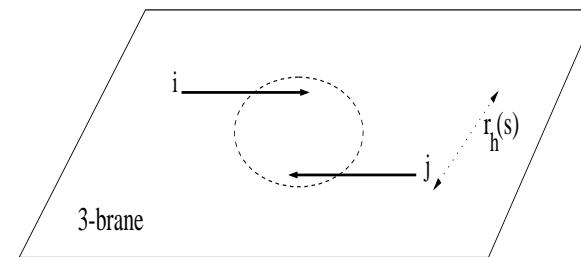
Επομένως, η δημιουργία μιας Μαύρης Οπής είναι πολύ πιο εύκολη εάν υπάρχουν επιπλέον χωρικές διαστάσεις στην φύση

Ταξίδια στο Σύμπαν

- Θα μπορούσε να **κατασκευάσει** ο άνθρωπος μια M.O. σε έναν **επιταχυντή σωματιδίων**; – η ιδέα προτάθηκε το 1999

Η απάντηση είναι **ναι**: σε πειράματα όπου σωματίδια συγχρούονται με μεγάλη ενέργεια (**LHC**), η απόστασή τους είναι περίπου της τάξης αυτής

Και πώς τις **ανιχνεύουμε**; Μέσω της **ακτινοβολίας Χώκινγκ** που εκπέμπουν ειδικά οι πολύ μικρές Μαύρες Οπές (Στήβεν Χώκινγκ, 1975)



Συμπεράσματα

- Η **βαρυτική δύναμη** είναι η πιο μυστηριώδης και η πιο ανεξερεύνητη δύναμη της φύσης
- Η **Γενική Θεωρία της Σχετικότητας** είναι η **πληρέστερη** θεωρία Βαρύτητας που διαθέτουμε σήμερα
- Προβλέπει την εξέλιξη ολόχληρου του **Σύμπαντος** από τη στγμή της δημιουργίας του μέχρι και το απώτερο μέλλον
- Προβλέπει την ύπαρξη μυστηριωδών λύσεων όπως οι **Μαύρες Οπές** και τα **Χωροχρονικά Τούνελ**
- Σύχρονες μελέτες επικεντρώνονται πια σε εναλλακτικές θεωρίες βαρύτητας, όπως η **θεωρία υπερχορδών**, και στις συνέπειες που αυτές έχουν