

Εισαγωγή

- Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν (Albert Einstein) γεννήθηκε στην Ulm της Γερμανίας στις 14 Μαρτίου του 1879, και έζησε επίσης στην Ελβετία και στις ΗΠΑ

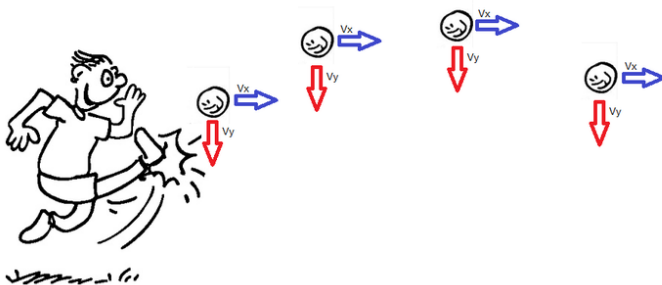
Το 1905, εργαζόμενος σε ένα γραφείο ευρεσιτεχνιών, ο Αϊνστάιν δημοσίευσε 4 εργασίες (!)

- 2 στην Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας
 - 1 στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (βραβείο Nobel το 1921)
 - 1 στην ισοδυναμία μάζας-ενέργειας ($E = mc^2$)
- Στις 25 Νοεμβρίου του 1915, ο Αϊνστάιν ολοκλήρωσε το άρθρο του στην Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, την κορυφαία του δουλειά όπως πίστευε ο ίδιος



Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

Μέχρι το 1905, η Νευτώνια Μηχανική, που αναπτύχθηκε από τον Γαλιλαίο και τον Νεύτωνα, περιέγραφε την κίνηση όλων των σωμάτων μέσα στον χώρο, όπως στην περίπτωση μιας βολής



Χρησιμοποιεί ως “βοηθητική” παράμετρο τον χρόνο για να ορίσει ποσότητες όπως η ταχύτητα και η επιτάχυνση του σώματος

Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

- Όμως, είχε γίνει ήδη φανερό ότι η θεωρία αυτή δεν περιγράφει σωστά την κίνηση σωμάτων με μεγάλες ταχύτητες
- Η βασική ιδέα της Ε.Θ.Σ. είναι ότι ο χώρος και ο χρόνος αποτελούν δύο διάκριτα, ισοδύναμα κομμάτια ενός ενιαίου υποβάθρου, του **χωρόχρονου**

Έτσι, αντί να μιλάμε για απόσταση δύο σημείων στον χώρο,

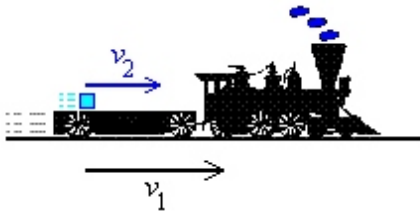
$$(\Delta s)^2 = (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2$$

μιλάμε για ‘απόσταση’ ανάμεσα σε δύο γεγονότα μέσα στον χωρόχρονο

$$(\Delta s)^2 = -c^2(\Delta t)^2 + (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2$$

Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

Μια επίσης συνηθισμένη διαδικασία στη Νευτώνια Μηχανική είναι αυτή της πρόσθεσης των ταχυτήτων



Ένας ακίνητος παρατηρητής στο έδαφος μετράει την τελική ταχύτητα του κιβωτίου να είναι

$$v = v_1 + v_2$$

Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

Η Ε.Θ.Σ. αντίθετα μας λέει ότι η τελική ταχύτητα δίνεται από την σχέση:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + v_1 v_2 / c^2}$$

όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό, και θέτει ως αξίωμα ότι δεν υπάρχει μεγαλύτερη ταχύτητα από αυτή στη φύση

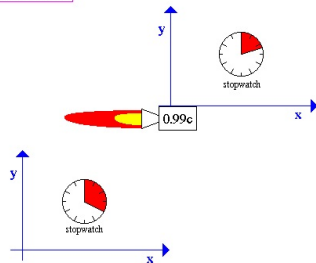
Αν ένα διαστημόπλοιο κινείται με $v_1 = 0.5c$ και εκπέμπει μια φωτεινή ακτίνα με $v_2 = c$ προς την κατεύθυνση ενός παρατηρητή, τότε αυτός θα μετρήσει τελική ταχύτητα για την φωτεινή ακτίνα

$$v_T = \frac{0.5c + c}{1 + (0.5c)(c)/c^2} = c \quad (!!!)$$

Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

Η Ε.Θ.Σ. προβλέπει δύο πολύ ενδιαφέροντα φαινόμενα: το πρώτο είναι η διαστολή του χρόνου

Time Dilation



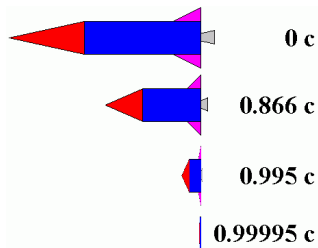
clocks run slower as one approaches the speed of light

Ένα κινούμενο ρολόι πηγαίνει πιο αργά από ένα ακίνητο ρολόι!

Επιβεβαιώθηκε πειραματικά το 1971 από τους Hafele & Keating που έκαναν τον γύρο της Γης σε αεροπλάνο με ατομικά ρολόγια

Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

Το δεύτερο φαινόμενο που προβλέπει η Ε.Θ.Σ. είναι η συστολή του μήκους:

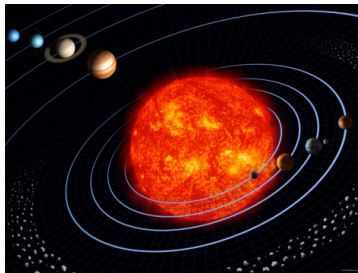


Ένας ακίνητος παρατηρητής μετράει μικρότερο μήκος για ένα κινούμενο αντικείμενο από ότι όταν αυτό ακινητεί

Η πειραματική επιβεβαίωση εδώ είναι πιο δύσκολη και έμμεση

Η Νευτώνια Βαρύτητα

Η βαρυτική δύναμη είναι ανύπαρκτη στο επίπεδο των στοιχειωδών σωματιδίων αλλά κυρίαρχη στον μακρόκοσμο



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

Η Νευτώνια Βαρύτητα

Η μαθηματική θεωρία που περιγράφει την βαρυτική δύναμη αναπτύχθηκε από τον Ισαάκ 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.

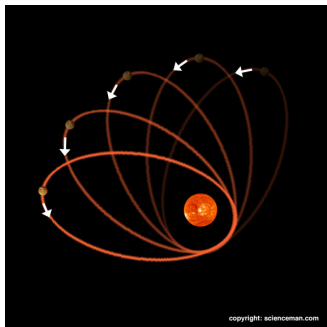
Η Νευτώνια Βαρύτητα

Η θεωρία του Νεύτωνα ήταν συμβατή με τις παρατηρήσεις του Τ. Μπράχε (1580) αλλά και τους νόμους του Γ. Κέπλερ (1609)

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....(;)

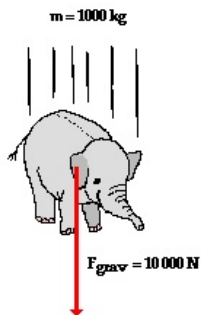


Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας

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

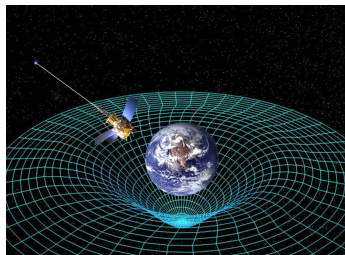
Ποιος όμως θα μπορούσε να φτιάξει μια καινούρια θεωρία;

Ο Αϊνστάιν έκανε την βασική παρατήρηση ότι όλα τα σώματα αισθάνονται την ίδια επιτάχυνση μέσα στο βαρυτικό πεδίο



Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας

Υπέθεσε ότι η επιτάχυνση που ασκεί το βαρυτικό πεδίο είναι μια 'εγγενής' ιδιότητα του χωρόχρονου



Είναι ανάλογη της μάζας του σώματος που δημιουργεί το βαρυτικό πεδίο ή της καμπυλότητας του χωρόχρονου, αφού

$$\text{Καμπυλότητα} = \text{Ενέργεια ή Μάζα}$$

Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας

Απο μαθηματικής πλευράς, η Γ.Θ.Σ. είναι μια αρκετά περίπλοκη θεωρία. Κεντρικό σημείο της, οι εξισώσεις πεδίου του Αϊνστάιν

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = 8\pi G_N T_{\mu\nu}$$

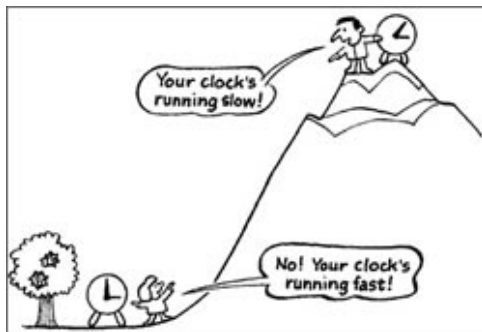
Π.χ. η ποσότητα $R_{\mu\nu}$ είναι τανυστής (έχει 16 συνιστώσες!)

Προβλέπει όμως με φοβερά μεγάλη μαθηματική ακρίβεια:

- Την μετάπτωση του περιηλίου του Ερμή
- Την εκτροπή των ακτίνων φωτός από τον Ήλιο
- Την βαρυτική εξασθένηση του φωτός
- Την βαρυτική διαστολή του χρόνου

Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας

Όσο πιο κοντά στο κέντρο του βαρυτικού πεδίου βρίσκεται ένα ρολόι τόσο πιο αργά 'τρέχει'



Όπως και στην Ε.Θ.Σ. η έννοια του 'ταυτόχρονου' δεν υπάρχει πλέον - πόσο σημαντικές είναι όμως αυτές οι διαφορές χρόνου;

Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας

Έστω ένα αεροπλάνο που πετά σε υψόμετρο $H = 10000$ m με ταχύτητα $v = 700$ Km/ώρα. Τότε το ρολόι του θα δείχνει:

- Λόγω της κίνησής του, από την Ε.Θ.Σ.:

$$\Delta t' \simeq \Delta t \left(1 - \frac{v^2}{2c^2} \right) = \Delta t (1 - 2 \times 10^{-11})$$

- Λόγω του υψομέτρου του, από την Γ.Θ.Σ:

$$\Delta t' \simeq \Delta t \left(1 + \frac{gH}{c^2} \right) = \Delta t (1 + 1 \times 10^{-12})$$

Αποκατάσταση του ‘ταυτόχρονου’ μεταξύ ενός ακίνητου και ενός ιπτάμενου ρολογιού εάν $v^2 = 2gH$, δηλαδή $v = 1600$ Km/ώρα

Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας

Μια ακριβής θεωρία των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων που:

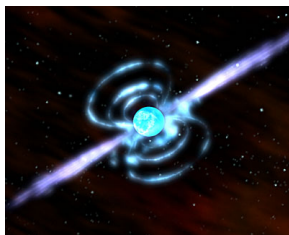
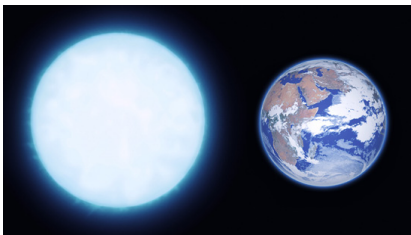
- περιγράφει το βαρυτικό πεδίο γύρω από την Γη, τον Ήλιο ή έναν Γαλαξία
- προβλέπει την ύπαρξη καινούργιων βαρυτικών λύσεων όπως οι μαύρες τρύπες ή οι σκουληχότρυπες (χωροχρονικά τούνελ)
- περιγράφει την εξέλιξη του ίδιου του Σύμπαντος



Μαύρες Τρύπες

Κάθε αστέρας παράγει τεράστια ποσά ενέργειας μέσω θερμοπυρηνικών αντιδράσεων που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το υδρογόνο

Όταν οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σταματήσουν, ο αστέρας καταρρέει. Εάν η μάζα του $M \leq 1.4$ φορές την μάζα του Ήλιου, ο αστέρας μετατρέπεται σε λευκό νάνο – εάν $1.4 < M \leq 3.2$ φορές την μάζα του Ήλιου, μετατρέπεται σε αστέρα νετρονίων

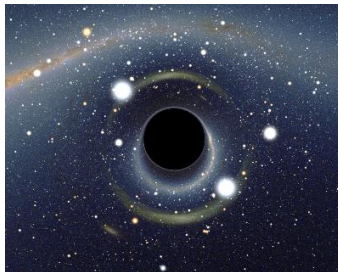


Μαύρες Τρύπες

- Εάν όμως η μάζα του αστέρα είναι ακόμα μεγαλύτερη, ο αστέρας καταρρέει έως ότου όλη του η μάζα συρρικνωθεί σε ένα και μοναδικό σημείο

Το σημείο αυτό ονομάζεται χωροχρονική ιδιομορφία και περιβάλλεται από μια σφαιρική επιφάνεια, τον ορίζοντα γεγονότων

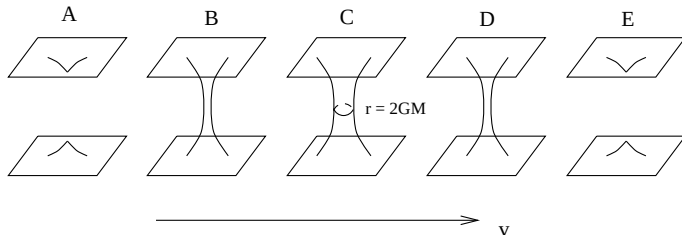
Όποιο σώμα περάσει τον ορίζοντα γεγονότων δεν θα γυρίσει ποτέ πια πίσω – ακόμα και τα φωτόνια



Σκουληκότρυπες ή Χωροχρονικά τούνελ

Η χωροχρονική ιδιομορφία – ένα σημείο άπειρης πυκνότητας – χρύβεται στο εσωτερικό της μαύρης τρύπας. Πάντοτε;

Όχι πάντα... Το εσωτερικό μιας Μαύρης Τρύπας δεν είναι στατικό: στη θέση της ιδιομορφίας ένας 'λαιμός' εμφανίζεται, ζει για λίγο και εξαφανίζεται



Σκουληκότρυπες ή Χωροχρονικά τούνελ

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!

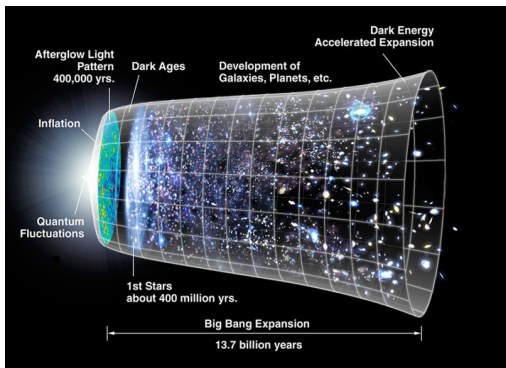
Το πέραςμα αυτό ονομάστηκε
γέφυρα Αινστάιν-Ρόουζεν (1935) ή
χωροχρονικό τούνελ ή σκουληκότρυπα



Δυστυχώς, το τούνελ στο εσωτερικό μιας μαύρης τρύπας κλείνει πολύ γρήγορα όμως άλλες, πιο ελκυστικές, λύσεις σκουληκότρυπων έχουν από τότε βρεθεί και μελετηθεί

Η Εξέλιξη του Σύμπαντος

Το σύμπαν μας εξελίσσεται με τον χρόνο: γεννήθηκε από ένα και μοναδικό σημείο (το σημείο της Μεγάλης Έκρηξης) πριν από 14 δισεκατομμύρια χρόνια και από τότε διαστέλεται συνεχώς και θα διαστέλεται για πάντα



Συμπεράσματα

- Από τις αρχές του 20ου αιώνα, όλες οι προβλέψεις της Ε.Θ.Σ. και οι περισσότερες της Γ.Θ.Σ. έχουν επιβεβαιωθεί
- Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας βρίσκει τεράστια εφαρμογή στον μικρόκοσμο ενώ η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας στον μακρόκοσμο
- Για την διατύπωσή τους, ο Αϊνστάιν βασίστηκε στις υπάρχουσες θεωρίες και ιδέες της εποχής του και τις συνδύασε αρμονικά σε ένα καινούριο πλαίσιο
- Θεωρείται ως ο επιστήμονας που επηρέασε τον τρόπο σκέψης μας περισσότερο από κάθε άλλον

Συμπεράσματα

Ένας τέλειος μαθητής, φοιτητής ή επιστήμονας; Κάθε άλλο...

- Είχε δυσκολίες στην ομιλία του ως παιδί, και δυσκολεύτηκε να τελειώσει το λύκειο
- Δεν κατάφερε να βρει ακαδημαϊκή θέση για πολλά χρόνια
- Δεν συμπάθησε ποτέ την Κβαντική Φυσική και την ίδια την εξέλιξη του σύμπαντος. Δούλεψε για χρόνια στην Θεωρία των Πάντων αλλά χωρίς αποτέλεσμα...

“Αυτός που δεν έκανε ποτέ κανένα λάθος δεν δοκίμασε ποτέ κάτι καινούριο”

“Ευφυία είναι 1% ταλέντο και 99% σκληρή δουλειά”

Άλμπερτ Αϊνστάιν