ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕ ΠΟΛΥΜΕΣΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας Πάσσος

Επιβλέπων: Ζαμαρίας Βασίλειος

Λέκτορας ΠΔ 407 Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2011

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕ ΠΟΛΥΜΕΣΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας Πάσσος

Επιβλέπων: Ζαμαρίας Βασίλειος

Λέκτορας ΠΔ 407 Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

1	2	3
Β.Ζαμαρίας	Ν.Τράκας	Ε.Παπαντωνόπουλος
Λέκτορας ΠΔ 407 Ε.Μ.Π	Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π	Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2011

Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, Παρουσίαση σε Πολυμέσα

Πρόλογος

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι παρουσίαση των βασικών αρχών της Γενικής θεωρίας της Σχετικότητας σε μια ιστοσελίδα. Έτσι, να μπορεί ο καθένας να έχει προσβαση σε αυτήν και να έχει την δυνατότητα να συλλάβει την ομορφιά της επιστημονικής σκέψης. Στην εργασία μου, κάνω προσπάθεια να εξηγήσω τις ενότητες, όσον το δυνατόν πιο απλά για τον αναγνώστη κάνοντας χρήση πολλών παραδειγμάτων. Στην ιστοσελίδα παραθέτω κάποια βίντεο κινούμενων γραφικών που αποσκοπούν στην ευκολότερη κατανόηση της θεωρίας, όπως επίσης και ένα Quiz γνώσεων που προσφέρει διαδραστικότητα με τον χρήστη.

Για την υλοποίηση αυτού του έργου, οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, τον κύριο Βασίλη Ζαμαρία, για το θεωρητικό υπόβαθρο που μου προσέφερε, αλλά και τις πολύτιμες συμβουλές του, οι οποίες ήταν καθοριστικές για το τελικό αποτέλεσμα.

Αφιερώνω την διπλωματική μου εργασία στους γονείς μου για την ανεκτίμιτη στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια σπουδών μου και όχι μόνο. Η παρουσία τους αποτελεί σημαντικό παράγοντα, αλλά και έμπνευση για την σταδιοδρομία μου.

Περιεχόμενα:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

Ιστορικά Στοιχεία

1) ***Τα κυριότερα γεγονότα της ιστορίας που οδήγησαν στην Θεωρία της Σχετικότητας***
   - ***Ο Roemer και η ταχύτητα του φωτός (1676)***
   - ***Η αποπλάνηση του φωτός (1782)***
   - ***Το φαινόμενο Doppler (1842)***
   - ***Το πείραμα Michelson - Morley (1881 και 1887)***

2) ***Ο Γαλιλαίος και ο μετασχηματισμός του***
   - ***Η αρχή της σχετικότητας του Γαλιλαίου***
   - ***Ο μετασχηματισμός του Γαλιλαίου***

3) ***Συμπεράσματα***

1. Τα κυριότερα γεγονότα της ιστορίας που οδήγησαν στην Θεωρία της Σχετικότητας

Στην μακρόχρονη ιστορία της επιστημονικής παρατήρησης, από τους Βαβυλώνιους και τους αρχαίους Έλληνες, μέχρι τον Γαλιλαίο και τον Νεύτωνα αλλά και αργότερα, υπήρξαν κάποια γεγονότα, όπου η βαρύτητά τους ήταν καθοριστική για την διατύπωση και θεμελίωση της Θεωρίας της Σχετικότητας από τον Einstein. Τα σημαντικότερα από αυτά τα γεγονότα είναι:

1632 Ο Γαλιλαίος δημοσιεύει το βιβλίο του: *Διάλογοι σχετικά με τα δύο κύρια κοσμικά συστήματα - το Πτολεμαϊκό και το Κοπερνίκειο*.

1676 Η πρώτη μέτρηση της ταχύτητας του φωτός από τον Ρέμερ (Roemer) .

1687 Δημοσίευση του. βιβλίου του Νεύτωνα: *Μαθηματικές αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας*

(Philosophiae Naturalis Principia Mathematica).

1782 Μπραντλεϋ (Bradley). Ανακάλυψη του φαινομένου της αποπλάνησης του φωτός.

1842 Φαινόμενο Ντόπλερ (Doppler).

1851 Επίδειξη της περιστροφής της Γης με το εκκρεμές του Φουκώ (Foucault).

1849 Ο Φιζώ (Fizeau) και ο Φουκώ (Foucault). Μέτρηση της ταχύτητας του φωτός στο εργαστήριο.

1851 Φιζώ. Μέτρηση της ταχύτητας του φωτός σε κινούμενο νερό.

1856-1864 Μάξγουελ (Maxwell). Διατύπωση της θεωρίας του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

1881 Το πρώτο πείραμα των Μάικελσον και Μόρλυ (Michelson-Morley).

1883 Δημοσίευση του βιβλίου του Μαχ (Mach), *Die Mechanik in ihrer Entwicklung.*

1887 Βελτιωμένο πείραμα των Μάικελσον και Μόρλυ.

1896 Ανακάλυψη της ραδιενέργειας από τον Μπεκερέλ (Becquerel).

1894-1896 Ανακάλυψη του ηλεκτρονίου από τον Τόμσον (J.J. Thomson).

1902 Μελέτη της κίνησης σχετικιστικών σωματιδίων μέσα σε ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο απο τον Κάουφμαν (Kaufmann).

1892-1904 Δημοσιεύσεις του Λόρεντζ (Lorentz) για την ηλεκτροδυναμική των κινουμένων σωμάτων.

1895-1905 Δημοσιεύσεις του Πουανκαρέ (Poincare) για τη σχετικότητα.

1905 Δημοσίευση του άρθρου του Άινστάιν (Einstein) '*Περί της ηλεκτροδυναμικής των κινουμένων σωμάτων*'.

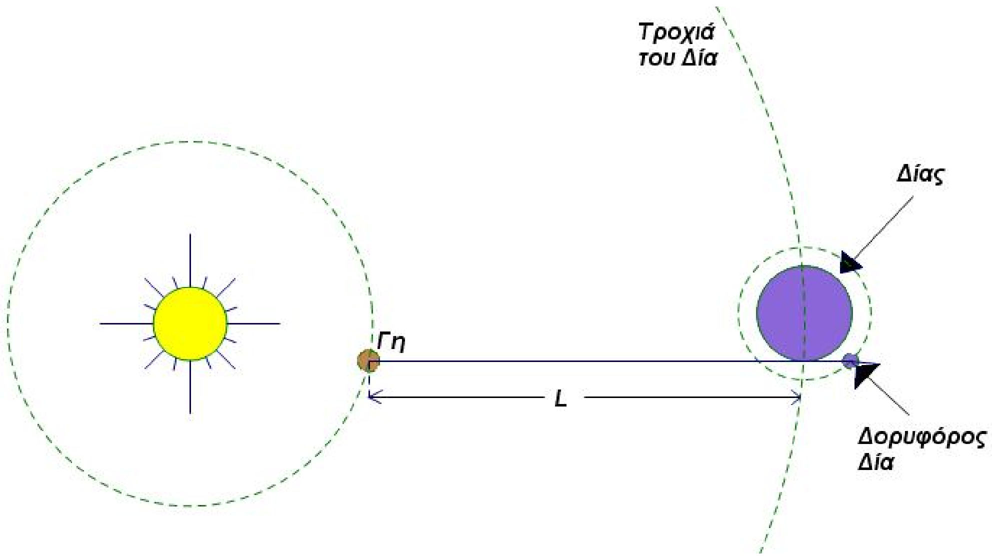
1909 Διάλεξη του Μινκόφσκι (Minkowski) για τον χώρο και τον χρόνο.

Ας δούμε πιο αναλυτικά κάποια από τα σημαντικότερα επιστημονικά γεγονότα που αποτέλεσαν σημαντικό παράγοντα για την θεμελίωση της Θεωρίας της Σχετικότητας.

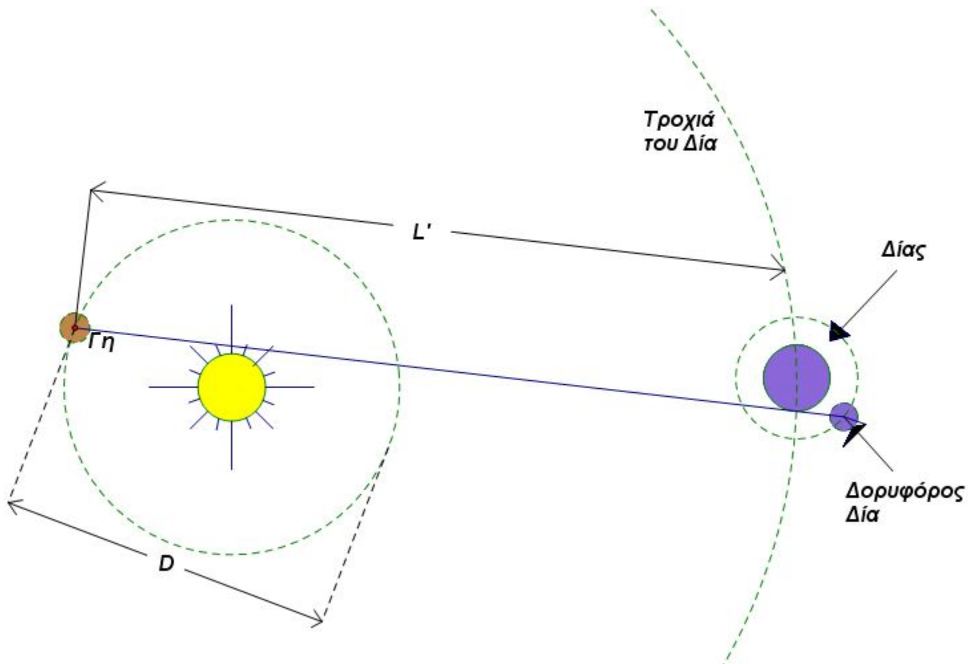
Ο Roemer και η ταχύτητα του φωτός (1676)

Έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές μέθοδοι για τον προσδιορισμό της ταχύτητας του φωτός. Αρκετούς αιώνες πριν υπάρξουν πειραματικές αποδείξεις, πολλοί πίστευαν ότι η ταχύτητα του φωτός πρέπει να είναι πεπερασμένη.

Η πρώτη πειραματική μαρτυρία δόθηκε από τον Δανό αστρονόμο Roemer το 1676. Αυτό που ουσιαστικά είχε παρατηρήσει ο Roemer ήταν μια εκδήλωση του φαινομένου που αργότερα έγινε γνωστό ως *φαινόμενο Ντόπλερ.* Μια περιοδική πηγή, στην περίπτωση αυτή ήταν το σύστημα πλανητών Δίας-Ιώ (η Ιώ είναι ένας δορυφόρος του Δία) και παρατηρητής ο ίδιος πάνω στην κινούμενη Γη. Διαπίστωσε ότι η συχνότητα των εκλείψεων ήταν μεγαλύτερη όταν η Γη πλησίαζε τον Δία από ό,τι όταν η Γη απομακρυνόταν από τον Δία. Για να δούμε όμως πως ο Roemer υπολόγισε τελικά την ταχύτητα του φωτός.



Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται οι τροχιές της Γης και του Δία γύρω από τον ήλιο, καθώς και η περιφορά της Ιούς γύρω από τον πλανήτη Δία. Όταν ο δορυφόρος δεν φαίνεται από την Γη, δηλαδή βρίσκεται πίσω από τον πλανήτη Δία, τότε έχουμε έκλειψη. Ο Roemer παρατήρησε ότι υπήρχε αυτή η μικρή μεταβολή στην περίοδο των εκλείψεων της Ιούς. Σε αυτήν τη θέση των πλανητών που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, η παρατήρηση στη Γη γίνεται με καθυστέρηση L/c, όπου c η ταχύτητα του φωτός και L η απόσταση της Γης όπως φαίνεται στο σχήμα. Ο Roemer μπόρεσε και προέβλεψε τον ακριβή χρόνο της έκλειψης που θα συνέβαινε μετά από 6 μήνες, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Έξι μήνες αργότερα, η Γη έχει διανύσει το μισό της τροχιά της, ενώ ο Δίας έχει κινηθεί κατά 15^0 περίπου, αφού χρειάζεται 12 έτη για να κάνει μια πλήρη περιστροφή γύρω από τον ήλιο. Η έκλειψη τώρα παρατηρείται με καθυστέρηση L'/c, με L' = L + D. Με την αποδεκτή τότε απόσταση Ηλίου-Γης των 140 x 10^6 km, άρα το D=280 x 10^6 km, η πρόβλεψη του Roemer έπεσε έξω κατά 1320 sec. Από αυτή τη χρονική διαφορά, συμπέρανε ότι το φώς δεν είχε άπειρη ταχύτητα, όπως μέχρι τότε πίστευαν, αλλά πεπερασμένη. Οπότε θεώρησε ότι αυτή η διαφορά πρέπει να είναι ο χρόνος που χρειάζεται το φως για να διανύσει τη διάμετρο D της τροχιάς της Γης γύρω από τον ήλιο. Επομένως, με αυτόν τον τρόπο υπολόγισε ότι η ταχύτητα του φωτός είναι:

$$c=\frac{2{,}8\times10^{11}m}{1320\sec}=2{,}12\times10^{9}m/s$$

Η παραπάνω προσέγγιση της ταχύτητας θεωρείται αρκετά καλή, δεδομένης της εποχής που έγινε ο προσδιορισμός της. Επιπλέον, ο Roemer έδειξε στους αστρονόμους ότι για την ανάλυση των αποτελεσμάτων των παρατηρήσεων, δηλαδή για να βρεθεί η αληθινή κίνηση ενός πλανήτη ή ενός δορυφόρου, είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη και ο χρόνος διάδοσης του φωτεινού σήματος.

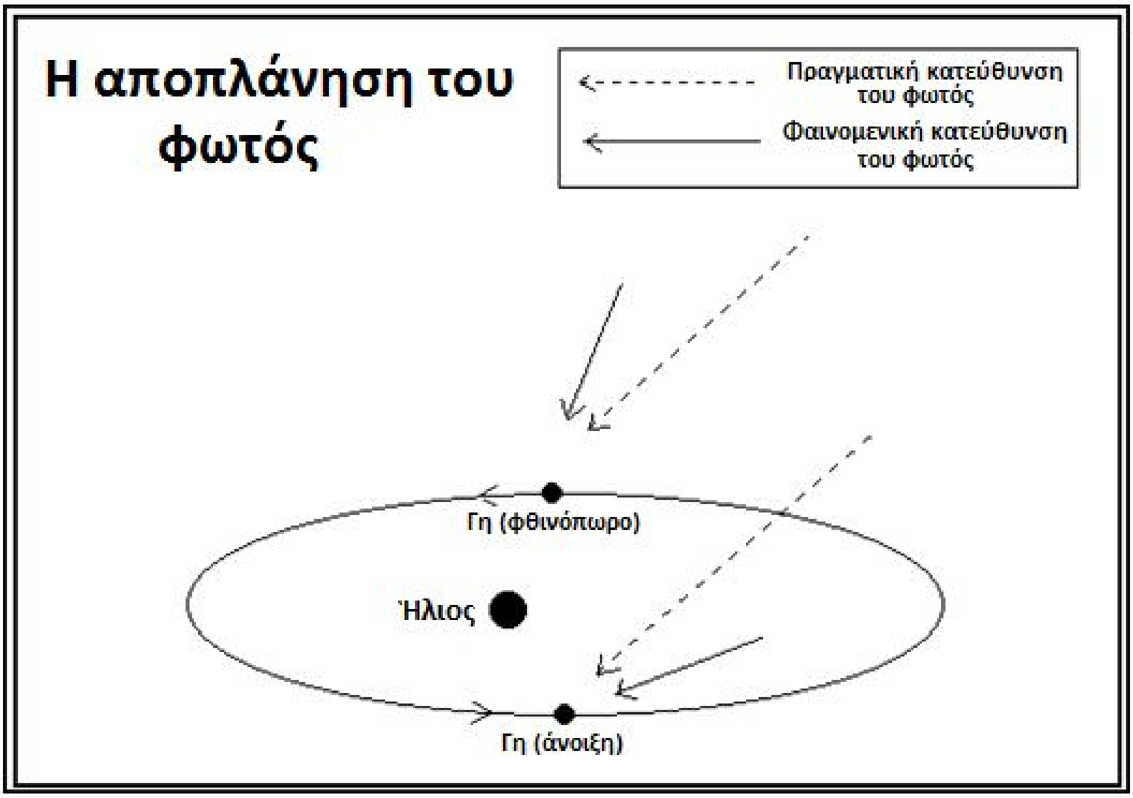
Ανεξαρτήτως της ακρίβειας με την οποία η ταχύτητα του φωτός υπολογίστηκε από τις μετρήσεις του Roemer, η σημασία των μετρήσεων αυτών μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

1. Για πρώτη φορά μετρήθηκε μια παγκόσμια σταθερά.
2. Η ταχύτητα του φωτός βρέθηκε πράγματι να είναι πολύ μεγάλη, αλλά πεπερασμένη.
3. Διαπιστώθηκε ότι οι αστρονόμοι πρέπει να λαμβάνουν τον χρόνο διάδοσης του φωτός στις χρονομετρήσεις τους κατά την παρατήρηση των ουρανίων φαινομένων.

Οι μετρήσεις του Roemer, αρχικά αποσκοπούσαν στην λύση ενός προβλήματος στη ναυσιπλοΐα. Στην πραγματικότητα όμως οδήγησαν στον προσδιορισμό της ταχύτητας του φωτός, η οποία έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην μετέπειτα διατύπωση της Θεωρίας της Σχετικότητας, καθώς και την παρατήρηση φαινομένων που έχουν να κάνουν με την σχετική κίνηση των πλανητών και φωτεινών πηγών όπως η αποπλάνηση του φωτός.

Η αποπλάνηση του φωτός (1782)

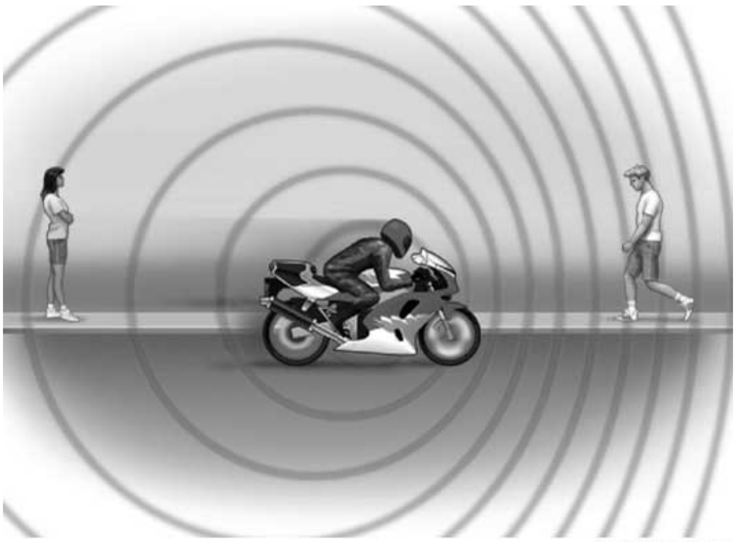
Ο Μπράντλεϋ χρειάστηκε δύο χρόνια για να μπορέσει να ερμηνεύσει το φαινόμενο αυτό. Αυτό συνέβη όταν συνειδητοποίησε ότι η φαινομενική μετατόπιση των άστρων οφείλεται στην κίνηση της Γης στην τροχιά της γύρω από τον Ήλιο και την πεπερασμένη ταχύτητα του φωτός. Ο Thomson αναφέρει μια ιστορία, σύμφωνα με την οποία η έμπνευση για την ερμηνεία του φαινομένου ήρθε στον Μπράτλεϋ στη διάρκεια ενός ταξιδιού αναψυχή με πλοιάριο στον Τάμεση: ‘’Η συντροφιά ανέβηκε και κατέβηκε τον ποταμό μερικές φορές και ο Μπράτλεϋ πρόσεξε πως ο ανεμοδείκτης στην κορυφή του καταρτιού άλλαζε κατεύθυνση κάθε φορά που το πλοιάριο άλλαζε κατεύθυνση, παρόλο που ο ασθενής άνεμος φυσούσε προς την ίδια κατεύθυνση.’’ Στα γραπτά του Μπράτλεϋ, όμως, δεν υπάρχει αναφορά σε κάποιο τέτοιο συμβάν, οπότε θα πρέπει να υποθέσουμε ότι έχουμε να κάνουμε με ακόμη έναν αληθοφανή μύθο στην ιστορία της επιστήμης.



Η ανακάλυψη της αποπλάνησης του φωτός είναι σημαντική, όχι μόνο γιατί οδήγησε σε μια καλύτερη προσέγγιση της ταχύτητας του φωτός (στον αέρα), αλλά έδειξε επίσης άμεσα την ετήσια μεταβολή της διεύθυνσης της ταχύτητας της Γης ως προς τα άστρα. Ως εκ τούτου, έδειξε επίσης ότι είναι ακριβέστερο να δεχθεί κανείς ότι η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο και όχι αντιστρόφως και ότι ο Ήλιος είναι επομένως καλύτερο αδρανειακό σύστημα από τη Γη.

Η πιο απλή εξήγηση της αποπλάνησης μπορεί να δοθεί με μια αναλογία ανάμεσα στη διάδοση του φωτός και στην πτώση των σταγόνων της βροχής. Ένα άτομο που περπατά γρήγορα μέσα σε μια βαριά καταιγίδα, με τις σταγόνες να πέφτουν κάθετα προς τα κάτω, θα πρέπει να φέρει σε κλίση την ομπρέλα του προς τα εμπρός προς αντιστάθμιση της κίνησής του. Κατά τον ίδιο τρόπο και για τον ίδιο λόγο, ένας αστρονόμος στην κινούμενη Γη πρέπει να αποκτά κλίση του τηλεσκοπίου του ελαφρά προς τα εμπρός στην κατεύθυνση της κίνησης της γης, προκειμένου το αστρικό φώς να πέφτει ακριβώς κάθετα στο κέντρο του τηλεσκοπίου του. Ως αποτέλεσμα αυτής της κίνησης, η φαινομενική θέση ενός αστεριού συνήθως δεν συμπίπτει με την αληθινή θέση του. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο της εκτροπής ή αποπλάνησης του φωτός. Πώς όμως επηρεάζεται η συχνότητα του φωτός που εκπέμπει ένα αστέρι που βρίσκεται σε σχετική κίνηση με έναν παρατηρητή;

Το φαινόμενο Doppler (1842)



Το φαινόμενο Doppler (Ντόπλερ) ή η μετατόπιση Doppler, συσχετίζει τη μετρούμενη συχνότητα ενός κύματος με τη συχνότητά του στην πηγή εκπομπής, και με τις σχετικές ταχύτητες της πηγής, του μέσου και του δέκτη. Το φαινόμενο αυτό στην περίπτωση του ήχου είναι πολύ γνωστό στον καθένα που έχει προσέξει τον ήχο ενός αυτοκινήτου που πλησιάζει και έπειτα απομακρύνεται ή σε εκείνους που περιμένουν σε μια σιδηροδρομική εξέδρα και ακούνε ένα τρένο που σφυρίζει, περνώντας από μπροστά τους. Γενικά, όταν μια πηγή πλησιάζει προς ένα δέκτη, ο αριθμός των κυμάτων που εκπέμπονται από την πηγή σε 1 s, θα φτάσει στον δέκτη σε χρονικό διάστημα μικρότερο από 1 s, γιατί η πηγή βρίσκεται πιο κοντά στον δέκτη όταν εκπέμπει το τελευταίο κύμα από ό,τι όταν εκπέμπει το πρώτο. Έτσι, η συχνότητα που μετρά ο δέκτης είναι υψηλότερη. Αντίθετα, όταν η πηγή απομακρύνεται, η συχνότητα στον δέκτη είναι χαμηλότερη. Ανάλογοι συλλογισμοί ισχύουν και όταν πρόκειται για ακίνητη πηγή και κινούμενο δέκτη. Οι συσχετισμοί αυτοί, για τον ήχο, αποδίδονται με την εξίσωση:

$$\nu_{\Delta} = \nu_{\Pi} \frac{1 + \upsilon_{\Delta} / V}{1 - \upsilon_{\Pi} / V} \tag{1.1}$$

όπου V είναι η ταχύτητα των ηχητικών κυμάτων στο μέσο διάδοσης (π.χ. στον αέρα που θεωρείται ακίνητος), υ_{π} είναι η ταχύτητα της πηγής ως προς το μέσον, που την παίρνουμε θετική όταν η πηγή κινείται προς τον δέκτη, υ_{Δ} είναι η ταχύτητα του δέκτη ως προς το μέσον, που την παίρνουμε θετική όταν ο δείκτης κινείται προς την πηγή, ν_{π} είναι η συχνότητα της πηγής, όπως μετριέται από έναν παρατηρητή ακίνητο ως προς την πηγή, και ν_{Δ} είναι η συχνότητα που μετριέται από τον δέκτη.

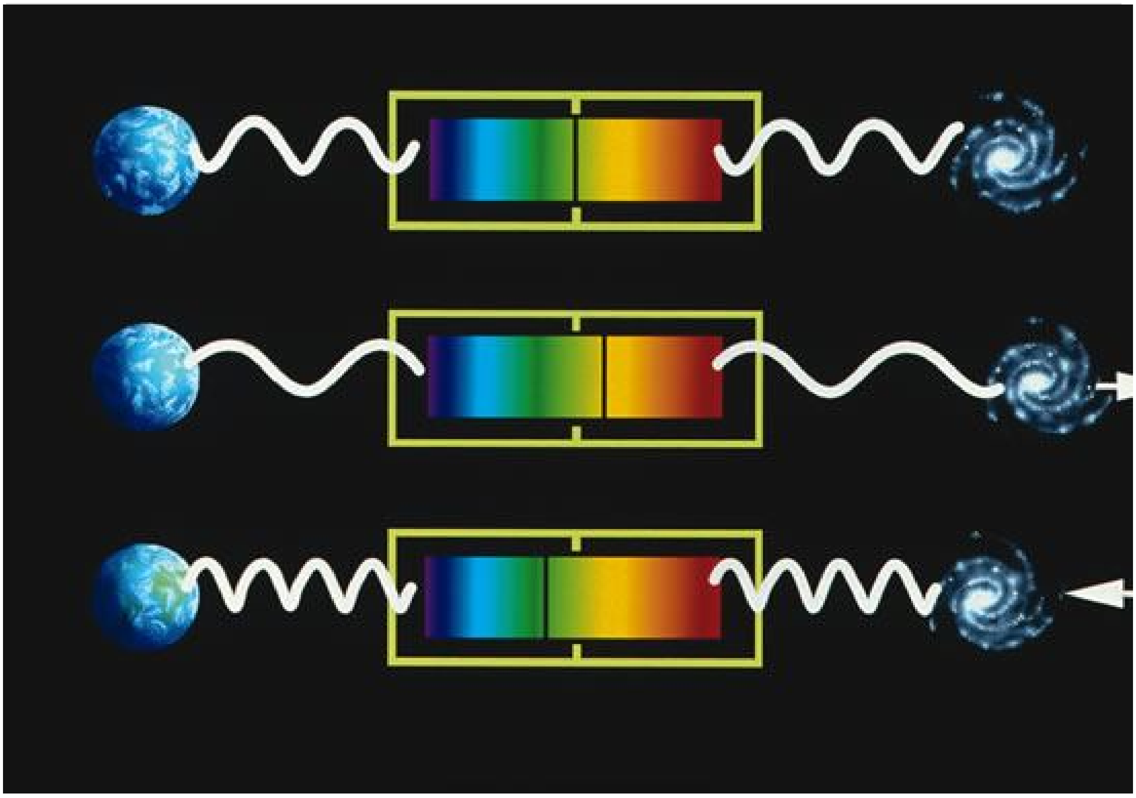
Ας σημειωθεί ότι αν $U_{\pi} << V$ (υποθέτουμε $\upsilon_{\Delta} = 0$), είναι

$$\nu_{\Delta} = \nu_{\Pi} \left(1 + \frac{\upsilon_{\Pi}}{V} \right) \tag{1.2}$$

και

$$\frac{\nu_{\Delta} - \nu_{\Pi}}{\nu_{\Pi}} = \frac{\Delta \nu}{\nu} = \left(\frac{\upsilon_{\Pi}}{V} \right) \tag{1.3}$$

Το φαινόμενο Doppler αποτελεί τη βάση για ορισμένα ενδιαφέροντα πειράματα ελέγχου της Ειδικής Σχετικότητας, καθώς και για μερικά άλλα σημαντικά αποτελέσματα, ιδιαίτερα στην αστρονομία. Με βάση το φαινόμενο Doppler, μπορούμε και υπολογίζουμε την ταχύτητα με την οποία ένας γαλαξίας ή ένα άστρο πλησιάζει ή απομακρύνεται από την Γη αλλά και την ταχύτητα περιστροφής διαφόρων ουράνιων σωμάτων. Για τον υπολογισμό αυτό βασιζόμαστε στο γεγονός ότι το μπλε φως έχει μεγαλύτερη συχνότητα από ότι το κόκκινο φως, έτσι οι φασματικές γραμμές του φωτός μιας πηγής που πλησιάζει εμφανίζει μία μετατόπιση προς το ιώδες σε αντίθεση με μια πηγή που απομακρύνεται και εμφανίζει ερυθρή μετατόπιση.



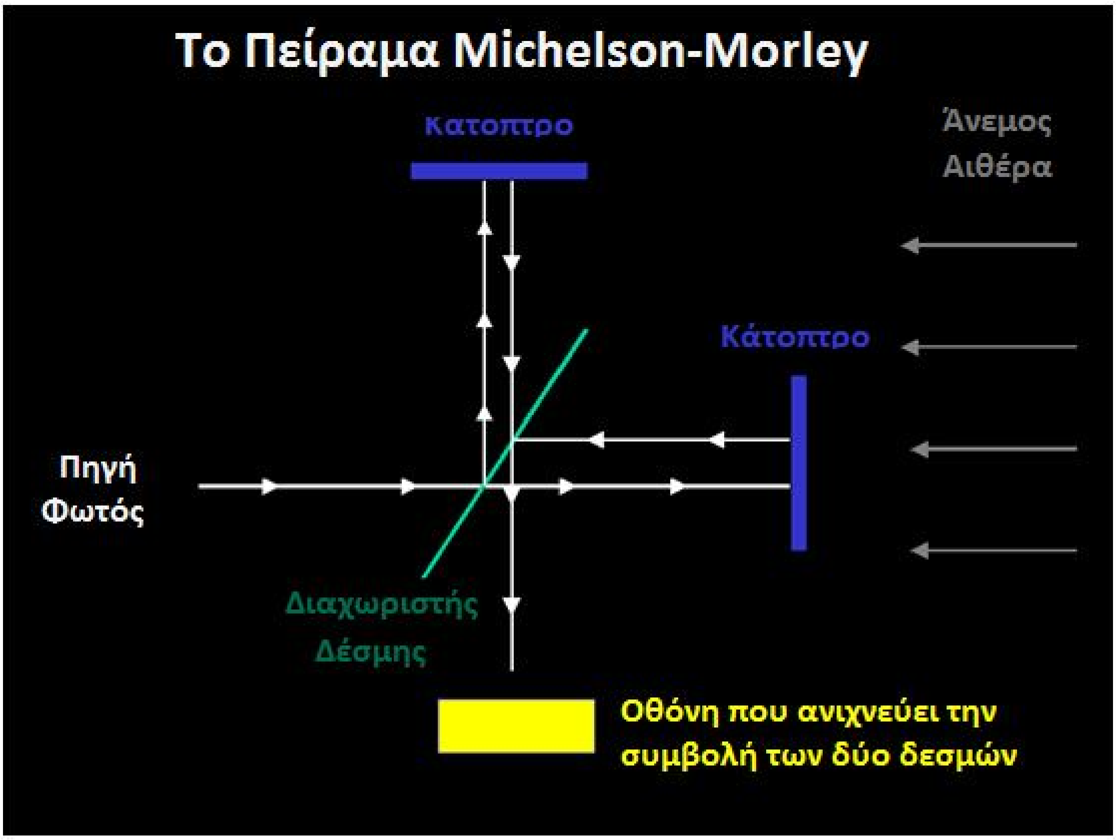
Εξηγώντας και αναλύοντας το φαινόμενο Doppler για τον ήχο, χρειαζόμαστε να αναφερθούμε στο μέσον που είναι ο φορέας των ηχητικών κυμάτων και στην κίνηση της πηγής ή του δέκτη ως προς το μέσο διάδοσης. Στην περίπτωση του φωτός όμως, δεν υπάρχει πάντα κάποιο μέσο διάδοσης, όπως τουλάχιστον ήταν το συμπέρασμα του πειράματος Michelson - Morley που πραγματοποιήθηκε περίπου σαράντα χρόνια αργότερα.

Το πείραμα Michelson - Morley (1881 και 1887)

Οι θεωρίες της Φυσικής στα τέλη του 19ου αιώνα επεσήμαναν, ότι, όπως τα κύματα της θάλασσας έχουν ένα μέσο για να διαδοθούν, δηλαδή το νερό, ή τα ακουστικά κύματα διαδίδονται σε ένα μέσο (π.χ. αέρας ή νερό), έτσι και τα φωτεινά κύματα χρειάζονται ένα μέσο διάδοσης. Επειδή το φως μπορεί να ταξιδέψει μέσα στο κενό, έγινε δεκτό ότι το κενό πρέπει να περιέχει ένα μέσο που να διαδίδεται το φως, δηλαδή τον «φωτοφόρο αιθέρα». Αυτή η εντύπωση δόθηκε ιδιαίτερα, μετά την διατύπωση των εξισώσεων του Maxwell τον δέκατο ένατο αιώνα που αποδείχτηκε ότι περιελάμβαναν κυματικές κινήσεις ανάμεσα στις λύσεις τους. Εάν υπήρχε κύμα, σίγουρα έπρεπε να υπάρχει κάτι που εκτελεί την κύμανση. Η έννοια ενός φωτοφόρου αιθέρα που διαπερνά τα πάντα είχε γεννηθεί.

Το 1881 ο Albert Michelson πραγματοποίησε ένα πείραμα (που το βελτίωσε αργότερα με τον Morley) και αποσκοπούσε την απόδειξη της ύπαρξης του φωτοφόρου αιθέρα καθώς και το πόσο γρήγορα κινούνταν το εργαστήριό του ως προς αυτόν. Η βασική ιδέα ήταν ότι η ταχύτητα και επομένως ο χρόνος διάνυσης ενός οπτικού δρόμου σ' ένα συμβολόμετρο έπρεπε να εξαρτάται από τον προσανατολισμό του δρόμου ως προς τη ροή του αιθέρα. Όταν το πείραμα πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά, καμία ροή αιθέρα δεν ανιχνεύθηκε. Φυσικά, αυτό θα μπορούσε να σημαίνει απλώς ότι το εργαστήριο ήταν προς στιγμή και κατά σύμπτωση σε ηρεμία ως προς τον αιθέρα. Η λύση ήταν να περιμένουν έξι μήνες, οπότε η Γη θα διένυε το αντιδιαμετρικό σημείο της τροχιάς της με μια εύκολα παρατηρήσιμη ταχύτητα -έως και 60 km/sec- ως προς τον αιθέρα, που και πάλι όμως δεν ανιχνεύτηκε.

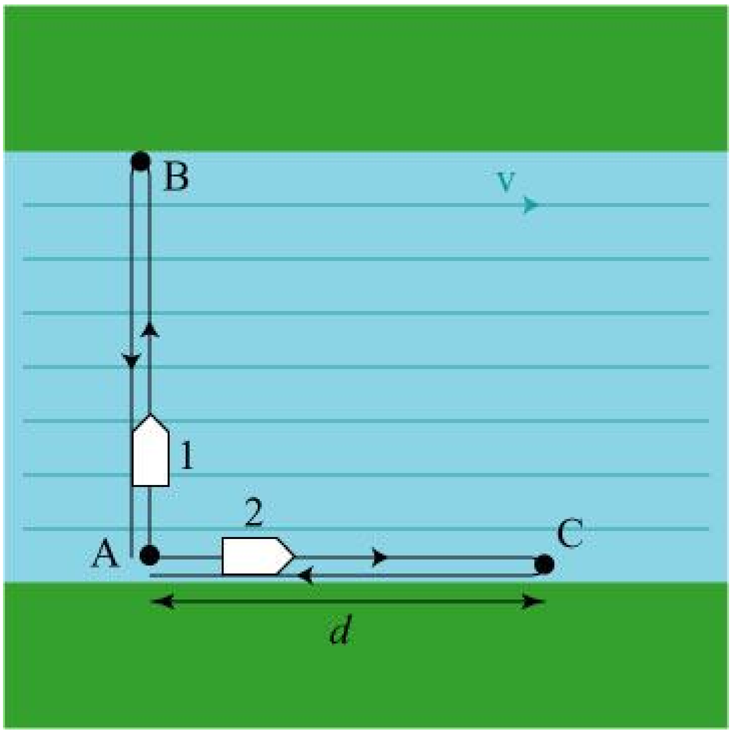
Ένα ανάλογο παράδειγμα, για να αντιληφθούμε καλύτερα την ιδέα του πειράματος είναι να σκεφτούμε ένα ελικόπτερο. Οι έλικες του ελικοπτέρου, έστω ότι έχουν ταχύτητα περιστροφής στις άκρες, περί τα 500km/h. Αν το ελικόπτερο κινείται προς μία κατεύθυνση με 200km/h, θα υπάρχουν σημεία όπου οι έλικες θα κινούνται με 300km/h (αντίθετα με την κίνηση) και σημεία όπου οι έλικες θα έχουν ταχύτητα 700km/h. Έτσι σκεφτηκαν ότι, αντίστοιχο αποτέλεσμα θα προκαλούσε η αιθερική ροή στην ταχύτητα του φωτός. Στην παρακάτω φωτογραφία, βλέπουμε την διάταξη του πειράματος.



Η λειτουργία του συμβολόμετρου, θα εξηγηθεί με ένα ανάλογο παράδειγμα, για την ευκολότερη κατανόηση του. Έστω ότι έχουμε έναν ποταμό με πλάτος 100m και η ροή του νερού είναι 3m/s. Δύο κολυμβητές, Α και Β, βρίσκονται στην ίδια όχθη του ποταμού. Ο Α (στο σχήμα το 1) θα κολυμπήσει μέχρι την απέναντι όχθη του ποταμού και θα επιστρέψει (σύνολο 200m). Ο Β (στο σχήμα το 2) θα κολυμπήσει 100m αντίθετα με την ροή του ποταμού και θα επιστρέψει, συμφώνα με την ροή του ποταμού (σύνολο 200m). Ποίος από τους δύο κολυμβητές θα κερδίσει αν υποθέσουμε ότι και οι δύο κολυμβητές κολυμπάνε το ίδιο γρήγορα, ας πούμε με 5m/s (η ταχύτητα αυτή είναι πολύ μεγάλη για κολύμπι, για τα ανθρώπινα δεδομένα)! Ποιος πιστεύετε ότι θα κερδίσει;

Εξετάζουμε πρώτα τον κολυμβητή Β. Κολυμπώντας τα πρώτα 100m αντίθετα στην ροή του ποταμού, θα έχει ταχύτητα 2m/s, άρα θα διανύσει την απόσταση σε 50s. Την επιστροφή, όμως, που θα κολυμπά σύμφωνα με την ροή του ποταμού, θα έχει ταχύτητα 8m/s και θα την διανύσει σε 12,5s. Συνολικά λοιπόν, ο κολυμβητής Β θα χρειαστεί 62,5s.

Ο κολυμβητής Α τώρα, για να καταφέρει να φτάσει στην ακριβώς απέναντι πλευρά του ποταμού (αλλιώς δεν θα διένυε 200m), πρέπει να κολυμπήσει διαγώνια, αντίθετα προς την ροή του ποταμού. Η γωνία που πρέπει να επιλέξει, θα πρέπει να δημιουργεί ένα ορθογώνιο τρίγωνο με υποτείνουσα 5 (λόγω της ταχύτητας που κολυμπάει) και την μία κάθετη 3 (λόγω της ταχύτητας της ροής του ποταμού). Άρα η ταχύτητα με την οποία θα κινείται τελικά κάθετα στην ροή του ποταμού, είναι 4m/s. Έτσι, θα κολυμπάει με 4m/s για τα 200m/s της απόστασης. Άρα, συνολικά θα χρειαστεί 50s.



Βλέπουμε ότι, τελικά θα κερδίσει ο κολυμβητής Α, που θα κολυμπήσει κάθετα στην ροή του ποταμού. Αυτό συμβαίνει για οποιαδήποτε ταχύτητα κολύμβησης, αρκεί φυσικά να είναι μεγαλύτερη αυτής της ροής του ποταμού. Έτσι και στο πείραμα των Michelson – Morley, οι δέσμες φωτός όταν θα διαχωριστούν από τον διαχωριστή, θα ακολουθήσουν πορείες ανάλογες των κολυμβητών του παραδείγματος και η αιθερική ροή θα είναι η αντίστοιχη ροή του ποταμού. Σε μια ενδεχόμενη λοιπόν αιθερική ροή, θα υπήρχε ετεροχρονισμένη άφιξη των δεσμών, με αποτέλεσμα την δημιουργία κροσσών συμβολής και απόσβεσης που θα ανιχνεύονταν από τον δέκτη. Κάτι τέτοιο δεν ανιχνεύτηκε ούτε σε εκείνο το πείραμα ούτε σε μεταγενέστερα που ήταν και μεγαλύτερης ακρίβειας. Έτσι οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η αιθερική ροή δεν υφίσταται.

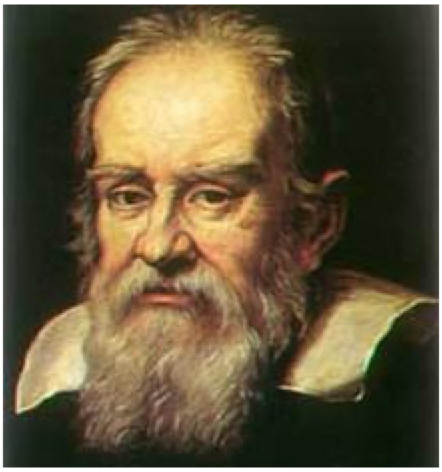
Το πείραμα αυτό θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως το πιο διάσημο αποτυχημένο πείραμα μέχρι σήμερα. Βέβαια αντί να παρέχει γνώση των ιδιοτήτων του αιθέρα κατάφερε να προβλέψει και αποδείξει πειραματικά ένα φαινόμενο (έστω και αν έγινε γνωστό μια εικοσαετία αργότερα) που αποτελεί βασική συνέπεια της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας και δεν είναι άλλο απ' την διαστολή του χρόνου και συστολή του μήκους.

2.Ο Γαλιλαίος και ο μετασχηματισμός του

Η αρχή της σχετικότητας του Γαλιλαίου

«Κλειστείτε με κάποιο φίλο σας στο αμπάρι ενός μεγάλου πλοίου, και έχετε μαζί σας μερικές μύγες, πεταλούδες και άλλα μικρά ζώα που μπορούν να πετάξουν. Επίσης ένα μεγάλο δοχείο με νερό και ψάρια μέσα σε αυτό. Κρεμάστε ψηλά ένα μπουκάλι που αδειάζει, σταγόνα-σταγόνα σε ένα φαρδύ δοχείο που βρίσκεται από κάτω του. Με το πλοίο ακίνητο, παρατηρήστε με προσοχή πώς τα μικρά ζώα πετάνε με τις ίδιες ταχύτητες προς όλες τις κατευθύνσεις μέσα στο αμπάρι. Τα ψάρια κολυμπούν αδιάφορα προς όλες τις κατευθύνσεις- οι σταγόνες πέφτουν στο δοχείο από κάτω και, πετώντας κάτι στον φίλο σας, δεν χρειάζεται να το πετάξετε με μεγαλύτερη δύναμη προς μια κατεύθυνση από όσο σε μια άλλη, ακόμα, κάνοντας ένα βήμα προς μία διεύθυνση, θα διανύσετε την ίδια απόσταση με ένα βήμα προς οποιαδήποτε άλλη διεύθυνση. Όταν έχετε παρατηρήσει όλα αυτά προσεκτικά (παρ' όλον ότι δεν υπάρχει αμφιβολία ότι, με το πλοίο ακίνητο, όλα θα συμβούν κατ' αυτόν τον τρόπο),

ζητήστε να κινηθεί το πλοίο με οποιαδήποτε ταχύτητα θέλετε, με την προϋπόθεση ότι η ταχύτητα θα είναι ομοιόμορφη και δεν μεταβάλλεται προς τη μια ή την άλλη κατεύθυνση. Δεν θα παρατηρήσετε την παραμικρή διαφορά σε όλα τα φαινόμενα που αναφέρθηκαν, ούτε και θα μπορείτε να πείτε από αυτά κατά πόσο το πλοίο κινείται ή είναι ακίνητο.»



Με αυτά τα λόγια εισάγει ο Γαλιλαίος την αρχή της σχετικότητας! Είχε παρατηρήσει, με πειράματα και με λογικούς συλλογισμούς, ότι η ομαλή σχετική κίνηση ανάμεσα σε δύο παρατηρητές δεν επηρεάζει τα φαινόμενα της Μηχανικής, όπως αυτοί τα παρατηρούν. Αυτό εκφράστηκε στην *αρχή του* Γαλιλαίου για το αναλλοίωτο:

Οι βασικοί νόμοι της Φυσικής είναι ταυτόσημοι για όλα τα συστήματα αναφοράς που κινούνται με σταθερή ταχύτητα το ένα προς το άλλο.

Η αρχή αναφέρεται φυσικά σε μηχανικά φαινόμενα και αποτελεί μια σημαντικότατη συνεισφορά του Γαλιλαίου στη μαθηματικοποίηση των νόμων της Φυσικής.

Ο *νόμος της αδράνειας* είναι ακόμη μία συνεισφορά του Γαλιλαίου στη Φυσική. Δηλώνει ότι: Ένα σώμα πάνω στο οποίο δεν ασκούνται εξωτερικές δυνάμεις, θα εξακολουθήσει να κινείται με σταθερή ταχύτητα ή και να είναι ακίνητο. Αρχικά αναφερόταν φυσικά στις, μόνες τότε γνωστές δυνάμεις, τις μηχανικές, αλλά σήμερα επεκτείνεται για να καλύψει όλες τις δυνάμεις. Γνωρίζοντας ότι οι θεμελιώδεις δυνάμεις που υπάρχουν στη φύση μειώνονται τουλάχιστον τόσο γρήγορα όσο το αντίστροφο του τετραγώνου της απόστασης, θεωρούμε ότι ένα σώμα που βρίσκεται αρκετά μακριά από άλλα σώματα μπορεί να θεωρηθεί, κατά προσέγγιση, απομονωμένο.

Ο νόμος της αδράνειας διατυπώθηκε ως Πρώτος Νόμος του Νεύτωνα για την Κίνηση. Ο Δεύτερος νόμος συσχετίζει την επιτάχυνση ενός σώματος με τις εξωτερικές δυνάμεις που ασκούνται πάνω σε αυτό:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$$

Θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ο ορισμός της δύναμης, η οποία, αν οριστεί με αυτόν τον τρόπο, οδηγεί σε πολύ απλές μαθηματικές εκφράσεις για τους νόμους που περιγράφουν τις φυσικές δυνάμεις. Ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα για την κίνηση, εκφράζει κάτι πολύ σημαντικό: ότι είναι δυνατόν να υπάρξουν στη φύση συστήματα αναφοράς, στα οποία ισχύει σε ικανοποιητικό βαθμό η συνθήκη μηδενικής εξωτερικής δύναμης και για τα οποία ισχύουν οι δύο πρώτοι νόμοι κίνησης του Νεύτωνα. Τα συστήματα αυτά αποκαλούνται *αδρανειακά συστήματα αναφοράς.* Αν υπάρχει ένα τέτοιο σύστημα, υπάρχουν άπειρα αδρανειακά συστήματα, τα οποία κινούνται με σταθερές σχετικές ταχύτητες μεταξύ τους. Προφανώς μόνο κατά προσέγγιση μπορούν να υπάρξουν αδρανειακά συστήματα αναφοράς. Η Γη, ως περιστρεφόμενο σύστημα αναφοράς δεν είναι αδρανειακό. Μπορεί να θεωρηθεί ως αδρανειακό, αν συμπεριλάβουμε και υποθετικές δυνάμεις, όπως η φυγόκεντρος δύναμη και η δύναμη Coriolis, στις πραγματικές δυνάμεις που ασκούνται πάνω σε ένα σώμα. Ο Ήλιος υφίσταται μια πολύ μικρή επιτάχυνση, λόγω των βαρυτικών δυνάμεων από γειτονικά άστρα, αλλά, κυρίως, λόγω της περιστροφής του Γαλαξία γύρω από το κέντρο του. Οι επιταχύνσεις αυτές όμως είναι εξαιρετικά μικρές, μη μετρήσιμες, και μπορούν να αγνοηθούν. Το ηλιοκεντρικό σύστημα αναφοράς είναι επομένως, με καλή προσέγγιση, αδρανειακό. Συνήθως αναφερόμαστε σε κίνηση «ως προς τους απλανείς αστέρες» για να μιλήσουμε για κίνηση μέσα σε αδρανειακό σύστημα, εννοώντας την κίνηση ως προς την ύλη στους πολύ μακρινούς γαλαξίες του ορατού σύμπαντος.

Ο μετασχηματισμός του Γαλιλαίου

Η θέση ενός συμβάντος σε ένα σύστημα αναφοράς S καθορίζεται από τις συντεταγμένες του *(x,y,z,t),* θέσης και χρόνου, στο σύστημα αυτό. Θα υποθέσουμε ότι ένα άλλο σύστημα αναφοράς, το συστημάτων συμπίπτουν. Στην κλασική Μηχανική, ο χρόνος είναι απόλυτος και κοινός για όλο το σύμπαν. Επομένως θα είναι *t' = t.* Επειδή η σχετική κίνηση των δύο συστημάτων γίνεται κατά μήκος του άξονα των *χ* μόνο, η απόσταση μεταξύ των αρχών των αξόνων O' και O θα είναι OO' = *Vt* . Θα είναι λοιπόν επίσης *x' = x - Vt* και *y' = y* , *z' = z .*

Ο μετασχηματισμός:

$$x' = x - Vt \qquad y' = y \qquad z' = z \; t' = t \tag{1.4}$$

ονομάζεται μετασχηματισμός του Γαλιλαίου. Είναι ένας ειδικός μετασχηματισμός και ως εκ τούτου διατηρεί αναλλοίωτη την εξίσωση

$$dp/dt = F \tag{1.5}$$

Αντίστοιχα για τις ταχύτητες, προκύπτει:

$$\upsilon_x' = \upsilon_x - V \;, \qquad \upsilon_y' = \upsilon_y - V \;, \qquad \upsilon_z' = \upsilon_z - V \tag{1.6}$$

Διανυσματικά, για γενική σχετική ταχύτητα του S' ως προς το S ίση με V και τους άξονες των δύο συστημάτων να συμπίπτουν όταν είναι *t*=*t'*=0 , ο μετασχηματισμός είναι:

$$r' = r - V \;, \qquad t = t' \tag{1.7}$$

Παραγωγίζοντας ξανά, έχουμε τον μετασχηματισμό της επιτάχυνσης:

$$\vec{a}\,' = \vec{a} \tag{1.8}$$

Γράφωντας την εξίσωση $dp/dt = F$ ως $\vec{F} = m\vec{a}$

Προκύπτει ότι $\vec{F}' = m\vec{a}'$ (1.9)

Και αν υποθέσουμε $\vec{F}' = \vec{F}$ (1.10)

Τότε ο μετασχηματισμός του Γαλιλαίου παραμένει αναλλοίωτος

3. Συμπεράσματα

Από όλα αυτά τα γεγονότα που συνέβησαν στον επιστημονικό χώρο της Φυσικής, κατά την διάρκεια των τεσσάρων τελευταίων αιώνων, έχουν προκύψει τα παρακάτω συμπεράσματα, τα οποία, έχουν κυρίως πειραματική βάση:

- Η ταχύτητα *c* είναι αναλλοίωτη για όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς.

- Η ταχύτητα *c* είναι η μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορεί να διαδοθεί η ενέργεια.

- Η απόλυτη ταχύτητα ενός συστήματος αναφοράς δεν έχει νόημα. Μόνο σχετικές ταχύτητες μπορούν να προσδιοριστούν πειραματικά.

- Οι απλοί μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου δεν δίνουν ικανοποιητικές ερμηνείες για τα φαινόμενα στα οποία υπεισέρχονται μεγάλες ταχύτητες.

- Η Νευτώνεια έκφραση ½ mu^2 για την κινητική ενέργεια δεν ισχύει όταν η ταχύτητα *υ* πλησιάζει την ταχύτητα *c* του φωτός.

Είμαστε τώρα έτοιμοι να μελετήσουμε την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας, έχοντας υπόψη τα πειραματικά δεδομένα που προηγήθηκαν. Να σημειώσουμε ότι αναφέραμε μόνο ένα μικρό μέρος από τα πειράματα που στηρίζουν την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας, η οποία είναι σήμερα πολύ γερά θεμελιωμένη. Το επόμενό μας εγχείρημα θα είναι να διατυπώσουμε τη θεωρία αυτή και να καταλάβουμε μερικές από τις κυριότερες συνέπειες της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

Η Ειδική θεωρία της Σχετικότητας

1) ***Βασικές Παραδοχές***

2) ***Αδρανειακοί παρατηρητές***

3) ***Μετασχηματισμός Λόρεντζ***

4) ***Η συστολή του μήκους και η διαστολή του χρόνου***
   - ***Η διαστολή του χρόνου***
   - ***Η συστολή του μήκους***

5) ***Διάγραμμα Minkowski***

6) ***Κώνος Φωτός***

7) ***Παράδοξα της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας***
   - ***Το παράδοξο των διδύμων***
   - ***Το Παράδοξο της σκάλας***

8) ***Μαθηματικά της Ειδικής θεωρίας της Σχετικότητας***
   - ***Σύμβαση Άθροισης του Einstein***
   - ***Διάστημα μεταξύ δύο σημείων***
   - ***Τετραδιανύσματα***
   - ***Τετρα-ταχύτητα***
   - ***Τετρα-ορμή***

Στην κλασική μηχανική που θεμελιώθηκε από τον Νεύτωνα, όλοι οι νόμοι πρέπει να έχουν την ίδια μορφή σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς, δηλαδή στα συστήματα που έχουν μηδενική επιτάχυνση και να ισχύουν οι μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου. Όμως οι φυσικοί που ασχολιόντουσαν με τον ηλεκτρομαγνητισμό, αντιμετώπιζαν ταχύτητες πολύ μεγαλύτερες από αυτές που συναντάμε στην κλασική μηχανική, ταχύτητες που είναι συγκρίσιμες με την ταχύτητα του φωτός. Παρατήρησαν λοιπόν, ότι οι μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου δεν έχουν σωστή συμπεριφορά για τόσο μεγάλες ταχύτητες. Τέτοιου είδους αφορμές, οδήγησαν στην αναζήτηση και ανάπτυξη μιας νέας θεωρίας, της Ειδικής θεωρίας της Σχετικότητας.

Προτού αναλύσουμε περεταίρω την θεωρία αυτή, ας δούμε κάποιες έννοιες που χρειάζονται αποσαφήνιση.

1. Βασικές Παραδοχές

Το αρνητικό αποτέλεσμα του πειράματος των Michelson και Morley σχετικά με τη διαπίστωση της κίνησης της Γης μέσα σε έναν αιθέρα, μπορούν να γίνουν κατανοητά μόνο όταν κάνουμε μια επαναστατική αλλαγή στον τρόπο που σκεφτόμαστε. Η νέα αρχή που χρειαζόμαστε είναι απλή και ξεκάθαρη:

Η ταχύτητα της διάδοσης του φωτός (στο κενό) είναι ανεξάρτητη από την κίνηση της φωτεινής πηγής ή του δέκτη.

Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα του φωτός είναι η ίδια για όλα τα συστήματα αναφοράς που κινούνται με ομοιόμορφη κίνηση σε σχέση με την πηγή. Σε αυτή τη νέα παραδοχή πρέπει να προστεθεί μια παλιότερη παραδοχή:

Ο χώρος είναι ισότροπος και ομοιόμορφος. Οι θεμελιώδεις νόμοι της Φυσικής είναι ίδιοι για δύο οποιουσδήποτε παρατηρητές που βρίσκονται σε σχετική κίνηση.

Όλες οι τεράστιες συνέπειες της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας ξεκινούν από αυτές τις παραδοχές. Ας δούμε όμως μια πολύ βασική έννοια που πρέπει να γνωρίζουμε, τον αδρανειακό παρατηρητή.

2.Αδρανειακοί Παρατηρητές

Ένας αδρανειακός παρατηρητής είναι ένας παρατηρητής σε ελεύθερη πτώση και μη περιστρεφόμενος. Είναι σημαντικό ένας παρατηρητής να μπορεί να αποφανθεί αν είναι αδρανειακός ή όχι, χωρίς να χρειάζεται να αναφερθεί καθ' οποιονδήποτε τρόπο στο υπόλοιπο σύμπαν. Το εργαστήριό του πρέπει να εφοδιαστεί με αρκετά επιταχυνσιόμετρα ώστε να μετρήσει επαρκώς τις βαρυτικές και τις φυγόκεντρες δυνάμεις. Αν όλα τα επιταχυνσιόμετρα δείξουν μηδέν, τότε είναι αδρανειακός εάν όχι, δεν είναι. Υπάρχει εδώ μια σαφής αντιδιαστολή: ένας παρατηρητής στο χωρίς παράθυρα εργαστήριό του αδυνατεί να μετρήσει την ταχύτητά του, αλλά μπορεί να μετρήσει χωρίς αμφιβολία την επιτάχυνσή του, η επιτάχυνση είναι απόλυτη, ενώ η ταχύτητα είναι σχετική.

Ο όρος αδρανειακός παρατηρητής στην ειδική σχετικότητα αναφέρεται συνήθως σε ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς. Οι φυσικοί χρησιμοποιούν τον όρο «αδρανειακός παρατηρητής» για να δηλώσουν ένα συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς από το οποίο μετρώνται ένα σύνολο γεγονότων ή αντικειμένων. Τα αποτελέσματα της ειδικής σχετικότητας, συμβαίνουν, άσχετα από την ύπαρξη κάποιου παρατηρητή που βρίσκεται εντός του αδρανειακού συστήματος αναφοράς για να τα επιβεβαιώσει. Μιλώντας για έναν αδρανειακό παρατηρητή στην ειδική θεωρία της σχετικότητας, δεν εννοούμε ένα συγκεκριμένο άτομο κάτω από κάποιες συνθήκες που βιώνει τα γεγονότα, αλλά στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα μαθηματικό πλαίσιο στο οποίο τα αντικείμενα και τα γεγονότα αξιολογούνται με βάση αυτό.

Με έννοιες σαν και αυτή καθώς και με την βοήθεια του Lorentz και του μετασχηματισμού του, η Ειδική θεωρία της Σχετικότητας είναι ένα βήμα πιο κοντά από το να διατυπωθεί.

3.Μετασχηματισμός Λόρεντζ

Ο Μετασχηματισμός Λόρεντζ, ο οποίος ονομάστηκε προς τιμήν του Ολλανδού Χεντρικ Λόρεντζ και αποτελεί τη βάση της Θεωρίας της Σχετικότητας, η οποία εισήχθη σε μια προσπάθεια να αρθούν οι αντιφάσεις ανάμεσα στις θεωρίες του ηλεκτρομαγνητισμού και της κλασικής Φυσικής.

Υπό τους μετασχηματισμούς αυτούς, η ταχύτητα του φωτός είναι η ίδια σε όλα τα συστήματα αναφοράς, όπως αξιώνει η Ειδική Σχετικότητα.

Αν και οι εξισώσεις συνδέονται με την Ειδική Σχετικότητα, διατυπώθηκαν πριν από αυτήν και προτάθηκαν από τον Λόρεντζ το 1904 ως εξήγηση του πειράματος Μάικελσον-Μόρλεϋ (Michelson-Morley), μέσω της συστολής του μήκους.

Οι μετασχηματισμοί αυτοί έρχονται σε αντίθεση με τους περισσότερο διαισθητικούς μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου, που δίνουν καλά αποτελέσματα σε μη-σχετικιστικές ταχύτητες.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογίσουμε πώς φαίνεται η τροχιά ενός σωματιδίου από ένα Αδρανειακό Σύστημα Αναφοράς που κινείται με σταθερή ταχύτητα (σε σχέση με το αρχικό "ακίνητο" Σύστημα Αναφοράς), αλλά και αντικαθιστούν τους προγενέστερους μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου.

Η ταχύτητα του φωτός c, εισέρχεται σαν παράμετρος στους μετασχηματισμούς Λόρεντζ. Αν η ταχύτητα *υ* είναι επαρκώς μικρή σε σχέση με την c, τότε και προκύπτουν οριακά οι μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου.

Οι μετασχηματισμοί Lorentz αποτελούν μια ομάδα μετασχηματισμών που χρησιμοποιείται για να μετασχηματίσει τις χωροχρονικές συντεταγμένες (ή γενικότερα, οποιοδήποτε τετραδιάνυσμα) από ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς S, σε ένα άλλο, S’, όπου το S’ κινείται με σχετική ταχύτητα υ ως προς το S κατά μήκος του x-άξονα. Αν ένα γεγονός έχει χωρο-χρονικές συντεταγμένες (t,x,y,z) στο S και (t’,x’,y’,z’) στο S’, τότε αυτές συσχετίζονται με βάση τους μετασχηματισμούς Lorentz με τον ακόλουθο τρόπο:

$$t'=\gamma\left(t-\frac{\upsilon_x}{c^2}\right)$$

$$x'=\gamma\left(x-\upsilon_x t\right)$$

$$y'=y$$

$$z' = z \tag{2.3}$$

όπου το

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \tag{2.4}$$

καλείται παράγοντας Lorentz.

Αυτή είναι η πιο απλή περίπτωση όπου έχουμε την ταχύτητα υ να είναι πάνω στον άξονα των x και οι εξισώσεις αυτές ισχύουν μόνο στην περίπτωση που η ταχύτητα υ βρίσκεται κατά μήκος του x-άξονα του συστήματος S.

Οι παραπάνω τέσσερεις εξισώσεις μπορούν να γραφούν συμπαγώς σε μορφή μήτρας ως εξής

$$\begin{bmatrix} t' \\ x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma & -\frac{\upsilon_x}{c^2}\gamma & 0 & 0 \\ -\upsilon_x\gamma & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{bmatrix} \tag{2.5}$$

ή εναλλακτικά ως

$$\begin{bmatrix} ct' \\ x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma & -\beta\gamma & 0 & 0 \\ -\beta\gamma & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ct \\ x \\ y \\ z \end{bmatrix} \tag{2.6}$$

με

$$\beta = \frac{\upsilon_x}{c}$$

- Η πρώτη μορφή έχει το πλεονέκτημα ότι φαίνεται εύκολα ότι ανάγεται στους μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου στο όριο $\upsilon / c \to 0$.
- Η δεύτερη μορφή έχει το πλεονέκτημα ότι δείχνει σαφώς τη διατήρηση του χωροχρονικού μήκους $ds^2 = (cdt)^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$, που είναι μια θεμελιώδης αναλλοίωτη ποσότητα της Ειδικής Σχετικότητας.

Σε περιπτώσεις όπου η υ_x δε δείχνει κατά μήκος του x-άξονα του S, είναι συνήθως ευκολότερο να κάνουμε μια περιστροφή του συστήματος, ώστε να φέρουμε την υ_x κατά μήκος του x-άξονα του S, ώστε να αποφύγουμε την εμπλοκή με τη γενική μορφή του μετασχηματισμού Lorentz όπου είναι η ακόλουθη

$$\begin{bmatrix} ct' \\ x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma & -\beta_x\gamma & -\beta_y\gamma & -\beta_z\gamma \\ -\beta_x\gamma & 1+(\gamma-1)\frac{\beta_x^2}{\beta^2} & (\gamma-1)\frac{\beta_x\beta_y}{\beta^2} & (\gamma-1)\frac{\beta_x\beta_z}{\beta^2} \\ -\beta_y\gamma & (\gamma-1)\frac{\beta_y\beta_x}{\beta^2} & 1+(\gamma-1)\frac{\beta_y^2}{\beta^2} & (\gamma-1)\frac{\beta_y\beta_z}{\beta^2} \\ -\beta_z\gamma & (\gamma-1)\frac{\beta_z\beta_x}{\beta^2} & (\gamma-1)\frac{\beta_{zy}\beta}{\beta^2} & 1+(\gamma-1)\frac{\beta_z^2}{\beta^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ct \\ x \\ y \\ z \end{bmatrix} \tag{2.7}$$

με

$$\beta_x = \frac{\upsilon_x}{c}, \qquad \beta_y = \frac{\upsilon_y}{c}, \qquad \beta_z = \frac{\upsilon_z}{c} \tag{2.8}$$

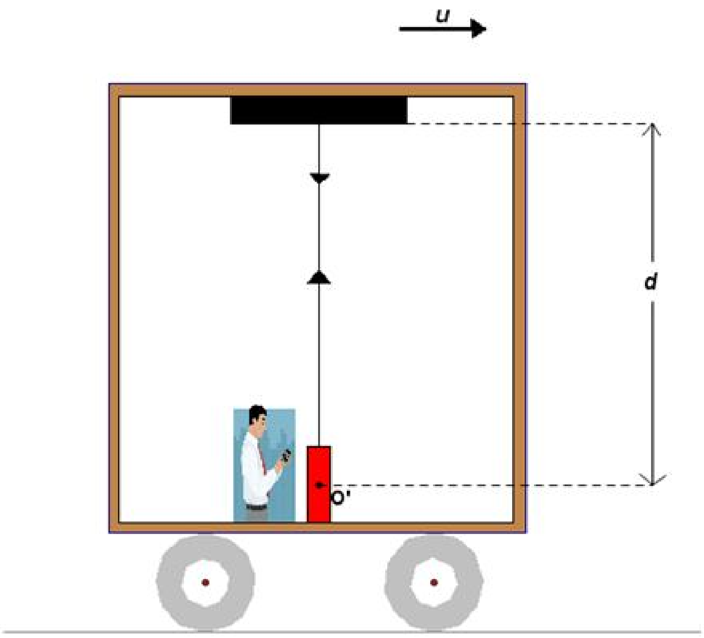
Καταλαβαίνουμε ότι η περιστροφή του συστήματος, έτσι ώστε να αποφύγουμε την γενική μορφή, απλουστεύει αρκετά τα πράγματα.

Με βάση τον μετασχηματισμό του Lorentz, προκύπτει η περιγραφή δύο σημαντικών φαινομένων της Ειδικής θεωρίας της σχετικότητας, η συστολή του μήκους και η διαστολή του χρόνου.

4.Η διαστολή του χρόνου και συστολή του μήκους

Η διαστολή του χρόνου

Σύμφωνα με όσα είπαμε για τον μετασχηματισμό του Lorentz, θα δούμε πως ο χρόνος δεν κυλάει με τον ίδιο ρυθμό για δύο διαφορετικούς αδρανειακούς παρατηρητές. Για να δούμε ένα παράδειγμα που θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση του φαινομένου της διαστολής του χρόνου. Θεωρούμε ένα τρένο που κινείται με ταχύτητα u προς τα δεξιά, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

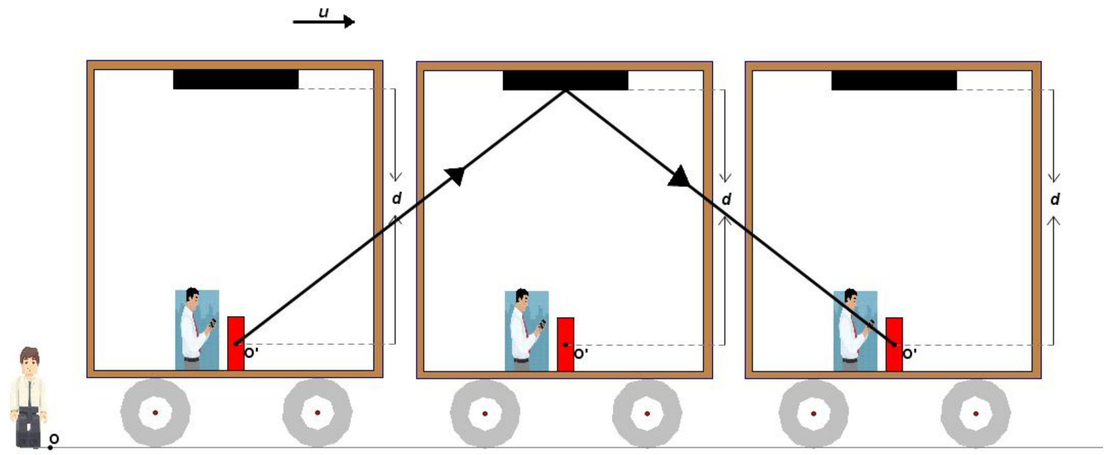


Στην οροφή του βαγονιού είναι στερεωμένο ένα κάτοπτρο και ένας ακίνητος ως προς το τρένο παρατηρητής (O’) κρατάει μια λυχνία φωτεινών παλμών σε απόσταση d από το κάτοπτρο. Σε κάποια στιγμή, η λυχνία στέλνει έναν φωτεινό παλμό προς το κάτοπτρο, ο οποίος ανακλάται και επιστρέφει. Επειδή ο φωτεινός παλμός έχει ταχύτητα c, ο χρόνος που χρειάζεται ώστε ο παλμός να μεταβεί από τη λυχνία στο κάτοπτρο και να επιστρέψει πάλι στη λυχνία μπορεί να υπολογιστεί από τον ορισμό της ταχύτητας:

$$\Delta t' = \frac{2d}{c} \qquad (2.9)$$

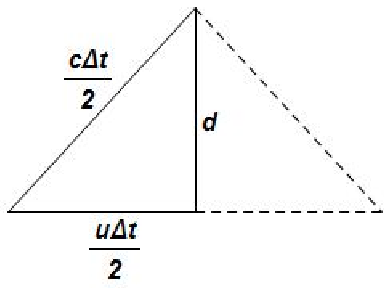
Όπου 2d η διαδρομή του φωτεινού σήματος, c η ταχύτητα του φωτός και t' ο χρόνος μετρήθηκε από τον παρατηρητή στο σύστημα αναφοράς του κινούμενου οχήματος.

Τώρα, ας εξετάσουμε το συμβάν αυτό, όπως παρατηρείται από έναν παρατηρητή που βρίσκεται σε ένα ακίνητο συστήμα αναφοράς, (Ο), εκτός του κινούμενου τρένου, όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα.



Σύμφωνα με τον παρατηρητή αυτόν, το κάτοπτρο και η λυχνία κινούνται προς τα δεξιά με ταχύτητα u. Την στιγμή που το φως από τη λυχνία φθάνει στο κάτοπτρο, το κάτοπτρο θα έχει διανύσει μία απόσταση uΔt/2, όπου Δt είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε ο φωτεινός παλμός να μεταβεί από τη λυχνία στο κάτοπτρο και να επιστρέψει στη λυχνία, όπως μετρείται από τον ακίνητο παρατηρητή που βρίσκεται στο σημείο Ο. Με άλλα λόγια, λόγω της κίνησης του συστήματος, ο ακίνητος παρατηρητής (Ο) βλέπει τον παλμό να διανύει μεγαλύτερη απόσταση σε σχέση με τον παρατηρητή που βρίσκεται στο κινούμενο σύστημα (Ο’).

Τώρα, σύμφωνα με τον Einstein, η ταχύτητα του φωτός πρέπει να είναι c και για τους δύο παρατηρητές. Συνεπώς, προκύπτει ότι το χρονικό διάστημα Δt που μετράται από έναν παρατηρητή στο ακίνητο σύστημα είναι μεγαλύτερο από το χρονικό διάστημα Δt’ που μετράται από έναν παρατηρητή στο κινούμενο σύστημα. Για να βρούμε την σχέση μεταξύ των Δt και Δt’, εφαρμόζουμε το Πυθαγόρειο θεώρημα στο ορθογώνιο τρίγωνο του παρακάτω σχήματος.



και προκύπτει:

$$\left(\frac{c\Delta t}{2}\right)^2 = \left(\frac{u\Delta t}{2}\right)^2 + d^2 \qquad (2.10)$$

όπου λύνοντας ως προς Δt έχουμε:

$$\Delta t = \frac{2d}{\sqrt{c^2 - u^2}} = \frac{2d}{c\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} \qquad (2.11)$$

και λόγω της (2.9) η παραπάνω εξίσωση γράφεται:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} = \gamma \Delta t' \qquad \text{με} \qquad \gamma = \left(1-\frac{u^2}{c^2}\right)^{-1/2} \qquad (2.12)$$

και επειδή $\gamma > 1$, καταλαβαίνουμε ότι $\frac{\Delta t}{\Delta t'} > 1$, άρα και $\Delta t > \Delta t'$.

Το αποτέλεσμα αυτό δηλώνει ότι το χρονικό διάστημα που χρειάζεται ο παλμός για να επιστρέψει στην αρχική του θέση μετρώμενος από τον παρατηρητή στο ακίνητο σύστημα (Ο), είναι μεγαλύτερος από εκείνο που μετράται από τον παρατηρητή στο κινούμενο σύστημα (Ο’). Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι, **σύμφωνα με έναν ακίνητο παρατηρητή, ένα κινούμενο ρολόι πάει πιο αργά κατά ένα**

συντελεστή γ^{-1} από ένα ολόιδιο ακίνητο ρολόι. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως διαστολή του χρόνου.

Το χρονικό διάστημα Δt' ονομάζεται ιδιοχρόνος. Γενικά, ιδιοχρόνος ορίζεται το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο συμβάντων όταν η μέτρηση γίνεται από έναν παρατηρητή που βλέπει τα γεγονότα να συμβαίνουν στην ίδια θέση. Στην περίπτωσή μας, ο παρατηρητής στο Ο' μετράει τον ιδιοχρόνο. Δηλαδή, ιδιοχρόνος είναι πάντοτε ο χρόνος που μετράται από έναν παρατηρητή ο οποίος κινείται μαζί με το ρολόι.

Η συστολή του μήκους

Όπως είδαμε προηγουμένως, ο χρόνος δεν είναι απόλυτος. Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο γεγονότων εξαρτάται από το σύστημα αναφοράς όπου γίνεται η μέτρηση. Τι ισχύει όμως για τον χώρο και ειδικότερα για το μήκος; Ας δούμε το παρακάτω παράδειγμα και θα καταλάβουμε ότι και το μήκος δεν είναι απόλυτο και εξαρτάται από το αδρανειακό σύστημα παρατήρησης.

Υποθέτουμε ότι πάνω στη Γη υπάρχει ένας παρατηρητής Α και ότι η Γη είναι ακίνητη σχετικά με δύο αστέρες. Ο παρατηρητής Α μετρά την απόσταση μεταξύ των αστέρων και την βρίσκει L'. Έστω ότι ένα διαστημόπλοιο με έναν παρατηρητή Β ξεκινάει από τον ένα αστέρα με ταχύτητα u ως προς τον άλλο αστέρα. Σύμφωνα με τον παρατηρητή Α, το διαστημόπλοιο θα φτάσει στον άλλο αστέρα σε χρόνο $\Delta t' = L'/\gamma$. Σύμφωνα με τον παρατηρητή Β, που βρίσκεται στο διαστημόπλοιο, λόγω της διαστολής του χρόνου θα μετρά ένα μικρότερο χρονικό διάστημα $\Delta t = \Delta t'/\gamma$. Ο ταξιδιώτης θεωρεί ότι βρίσκεται σε ηρεμία και ότι βλέπει τον αστέρα που κατευθύνεται ως κινούμενο προς το διαστημόπλοιο του με ταχύτητα u. Άρα, ο παρατηρητής Β, συμπεραίνει ότι η απόσταση μεταξύ των αστέρων είναι L, δηλαδή, μικρότερη από το L' που έβλεπε ο ακίνητος στην Γη παρατηρητής, αφού:

$$L = u\Delta t = u\Delta t'/\gamma = L'/\gamma \tag{2.13}$$

άρα

$$L = L'/\gamma \qquad \text{ή} \qquad L = L'\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}} \tag{2.14}$$

Το μήκος που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής που βρίσκεται στο σύστημα αναφοράς που ηρεμεί, στην προκειμένη περίπτωση αυτός που είναι στην Γη, λέγεται ιδιομήκος. Το μήκος ενός αντικειμένου που μετράται σε ένα σύστημα αναφοράς στο οποίο το αντικείμενο κινείται, είναι πάντα μικρότερο από το ιδιομήκος. Το φαινόμενο αυτό λέγεται συστολή του μήκους.

Οπότε, καταλήγουμε στο εξής συμπέρασμα, **ένα αντικείμενο που κινείται με ταχύτητα *u* έχει μετρόμενο μήκος μικρότερο από το ιδιομήκος L' κατά έναν παράγοντα** $\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}$ **.**

5.Διάγραμμα Minkowski

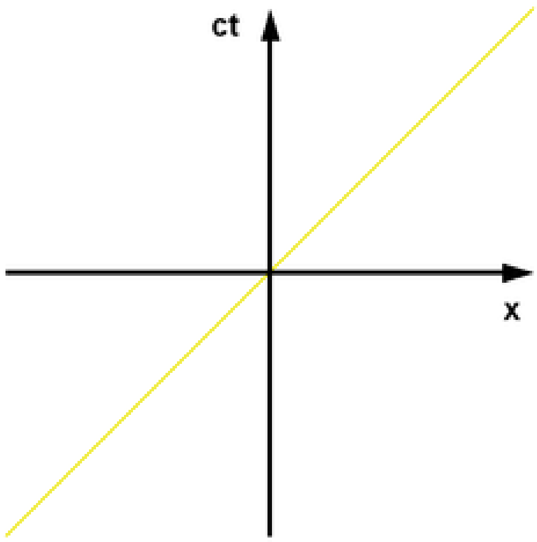
Το διάγραμμα Minkowski αναπτύχθηκε το 1908 από τον Herman Minkowski και παρέχει μια απεικόνιση των ιδιοτήτων του χώρου και του χρόνου στην ειδική θεωρία της σχετικότητας. Επιτρέπει την ποσοτική κατανόηση των αντίστοιχων φαινομένων όπως η διαστολή του χρόνου και η συστολή μήκους χωρίς μαθηματικές εξισώσεις.

Το διάγραμμα Minkowski είναι ένα διάγραμμα χώρου-χρόνου με συνήθως μόνο μία διάσταση του χώρου. Είναι μια υπέρθεση του συντονισμού των συστημάτων για δύο παρατηρητές που κινούνται μεταξύ τους με σταθερή ταχύτητα. Σκοπός του είναι να επιτρέψει στον παρατηρητή την άμεση αντιστοίχιση μεταξύ των χωρικών και χρονικών συντεταγμένων, απ΄το ένα συστημα στο άλλο και αντίστροφα. Επίσης, ο ρόλος της ταχύτητας του φωτός ως ένα ανυπέρβλητο όριο, περιορίζεται από τις ιδιότητες του χώρου και του χρόνου.

Για λόγους απλοποίησης στα διαγράμματα Minkowski, περιγράφουμε μόνο μονοδιάστατα γεγονότα. Σε αντίθεση με τα κοινά διαγράμματα απόστασης - χρόνου, η απόσταση θα εμφανιζεται στον άξονα x και ο χρόνος στον άξονα y. Με αυτόν τον τρόπο τα γεγονότα που έχουν μια οριζόντια πορεία στην πραγματικότητα, μπορούν να απεικονιστούν εύκολα με μια οριζόντια γραμμή στο διάγραμμα. Με τον τρόπο αυτό κάθε αντικείμενο, όπως ένας παρατηρητής ή ένα όχημα, ακολουθεί στο διάγραμμα μια καμπύλη που ονομάζεται **κοσμική γραμμή**.

Κάθε σημείο στο διάγραμμα αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη θέση στο χώρο και στο χρόνο. Κάθε τέτοια θέση ονομάζεται **γεγονός** άσχετα με το αν συμβαίνει κάτι σ' αυτη την θέση.

Για λόγους ευκολίας, ο κατακόρυφος άξονας του χρόνου αποτελεί, όχι τον χρόνο t, αλλά την αντίστοιχη ποσότητα ct, όπου c = 299.792.458 m / s είναι η ταχύτητα του φωτός. Με τον τρόπο αυτό, ένα δευτερόλεπτο στην τεταγμένη αντιστοιχεί σε μια απόσταση 299.792.458 m για την τετμημένη. Επειδή x = ct, για ένα φωτόνιο που διέρχεται από την αρχή των αξόνων προς τα δεξιά, η κοσμική γραμμή του, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, είναι μια ευθεία γραμμή με κλίση 45 °, αν κλίμακες και στους δύο άξονες είναι ταυτόσημες.



6.Κώνος Φωτός

Ένα κώνος φωτός, είναι το μονοπάτι όπου μια λάμψη φωτός εκπέμπεται από ένα γεγονός P, το οποίο τοποθετείται σε ένα συγκεκριμένο σημείο του χωροχρόνου και ταξιδεύει προς όλες τις κατευθύνσεις μέσα σε αυτόν. Φανταστείτε το φως ότι περιορίζεται σε ένα δισδιάστατο επίπεδο και ότι απλώνεται σε έναν κύκλο, μετά απ' το συμβάν του γεγονότος P. Όταν διαγράφουμε έναν αυξανόμενο κύκλο σε σχέση με τον κατακόρυφο άξονα του γραφήματος που εκπροσωπεί τον χρόνο, το αποτέλεσμα είναι ένα κώνος , που είναι γνωστός ως ο μελλοντικός κώνος φωτός. Ο παρελθοντικός κώνος φωτός συμπεριφέρεται σαν ένας ανεστραμμένος μελλοντικός κώνος φωτός. Το σημείο που αντιστοιχεί στο παρόν, δηλαδή στο γεγονός το οποίο μελετάμε, είναι η ένωση των δύο κορυφών των δύο κώνων. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν τρεις διαστάσεις του χώρου, έτσι το φως θα αποτελούσε μια διευρυνόμενη σφαίρα στον τρισδιάστατο χώρο και ο κώνος φωτός θα είναι ένα τεσσάρων διαστάσεων σχήμα. Ωστόσο, η ιδέα είναι πιο εύκολο να απεικονστεί με τον αριθμό των χωρικών διαστάσεων να μειώνεται από τρεις σε δύο.

Η εξίσωση της υπερεπιφάνειας αυτής , θεωρώντας το P ως αρχή των συντεταγμένων, είναι:

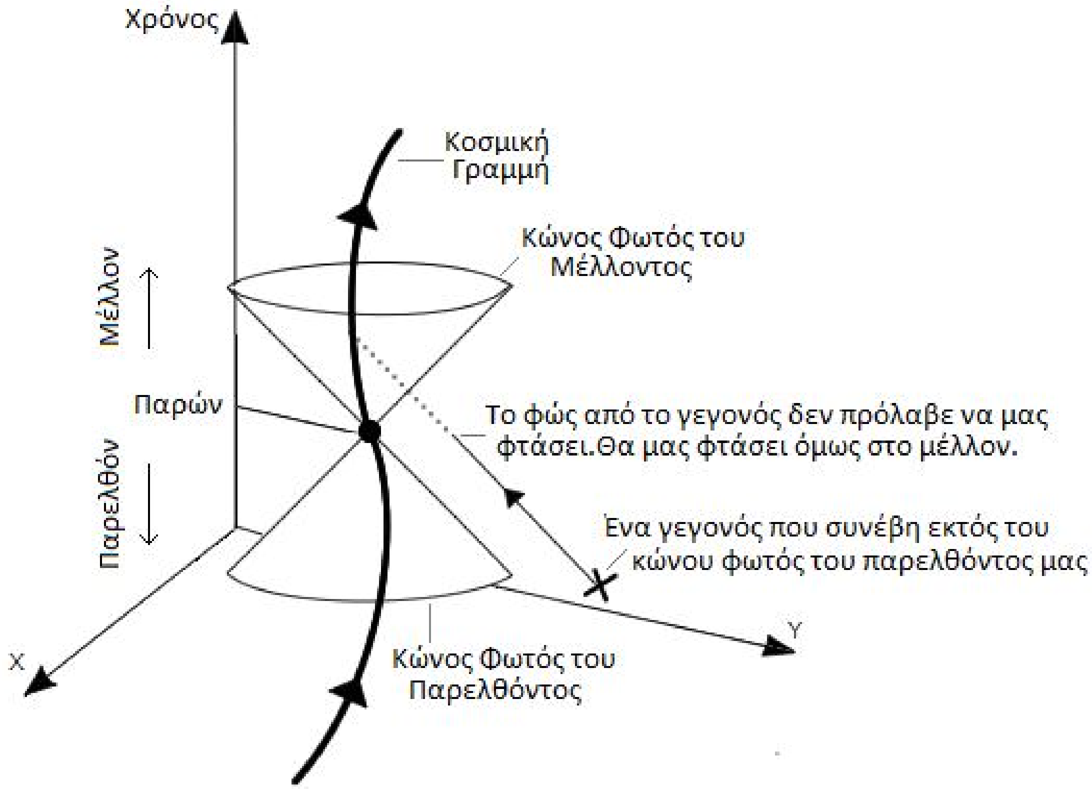
$$c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2 = 0 \tag{2.19}$$

και για z=0 προκύπτει η απλουστευμένη μορφή που περιγράψαμε.

Ο κώνος φωτός διαιρεί τον χωρόχρονο σε τρείς περιοχές:

1) Γεγονότα του μελλοντος του P – όλα τα γεγονότα Q_{μ} που βρίσκονται στον μελλοντικό κώνο φωτός, όπου έχουμε δύο κατηγορίες,
    i. Τα γεγονότα που βρίσκονται μέσα στον μελλοντικό κώνο φωτός και μπορούν να επηρεαστούν από την εκπομπή ενός σήματος απ' το γεγονός P.
    ii. Τα γεγονότα που βρίσκονται πάνω στην επιφάνεια του μελλοντικού κώνου φωτός και δεν μπορούν να επηρεαστούν απ' το P καθώς οι πληροφορίες τους κινούνται με την ταχύτητα του φωτός.

2) Γεγονότα του παρελθόντος του P – όλα τα γεγονότα Q_{π} που βρίσκονται στον παρελθοντικό κώνο φωτός. Τα γεγονότα αυτά μπορούν να επηρεάσουν το γεγονός P καθώς βρίσκονται στο παρελθόν του.
3) Γεγονότα που βρίσκονται εκτός του κώνου φωτός και δεν επηρεάζονται απ' το P καθώς και δεν μπορούν να το επηρεάσουν.



Επειδή οποιοδήποτε σήμα δεν μπορεί να ταξιδέψει ταχύτερα από το φως, τουλάχιστον με βάση την Θεωρία της Σχετικότητας, ο κώνος φωτός διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στον καθορισμό της έννοιας της αιτιότητας, ακόμα και σε φιλοσοφικό επίπεδο. Για ένα γεγονός E, το σύνολο των γεγονότων που βρίσκονται πάνω ή μέσα στον παρελθοντικό κώνο φωτός, θα είναι επίσης το σύνολο όλων των γεγονότων που θα μπορούσαν να στείλουν ένα μήνυμα και να επηρεάσουν με κάποιο τρόπο το γεγονός P. Συνεπώς, φαινόμενα στο P δεν μπορούν να επηρεάσουν φαινόμενα στο Q εκτός και αν το Q κείται στο μέλλον του P (ή τουλάχιστον στο μελλοντικό τμήμα του κώνου φωτός στο P). Ομοίως, εάν το Q πρόκειται να επηρεάσει το P με οποιονδήποτε τρόπο, θα πρέπει να κείται στο παρελθόν του P. Να σημειώσουμε ότι υπάρχει μια επιφύλαξη από κάποιες επιστημονικές κοινότητες σχετικά με το πόσο ισχύουν αυτά με απόλυτη ακρίβεια όταν ληφθεί υπ’ όψιν η κβαντική μηχανική.

Παρόλο την γενικότερη αποδοχή της Θεωρίας της σχετικότητας, υπάρχουν διάφορα παράδοξα που συζητιούνται από τον επιστημονικό και όχι μόνο κόσμο.

7.Παράδοξα της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας

Το παράδοξο των διδύμων

Το παράδοξο των διδύμων είναι ένα πείραμα σκέψης που έχει να κάνει με την ειδική θεωρία της σχετικότητας. Περιλαμβάνει δύο δίδυμους αδερφούς, όπου ο ένας απ' τους δύο κάνει ένα ταξίδι στο διάστημα με ένα διαστημόπλοιο που κινείται με σχετικιστική ταχύτητα. Όταν επιστρέφει πίσω στην Γη, συναντάει τον αδερφό του, ο οποίος έχει μεγαλύτερη ηλικία από αυτόν, πράγμα λογικό αφού ο ένας ταξίδευε με μεγάλη ταχύτητα και ήταν υπαρκτή η διαστολή του χρόνου. Το παράδοξο έγκειται στο γεγονός ότι αν θεωρήσουμε σαν αδρανειακό σύστημα το σύστημα του «ταξιδιώτη» αδερφού, τότε και ο δίδυμος που βρίσκεται στην Γη ταξιδεύει και αυτός με σχετικιστική ταχύτητα σε σχέση με τον άλλον, έτσι κατά την επιστροφή του αδερφού του, αυτός θα έπρεπε να είναι νεότερος.

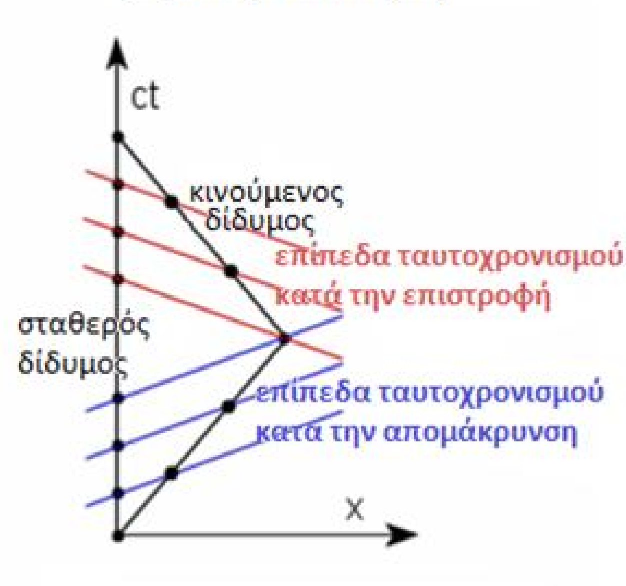
Για αυτήν την αντίφαση έχουν δοθεί πολλές εξηγήσεις, η επικρατέστερη από αυτές δόθηκε από τον Paul Langevin το 1911 η οποία καταρρίπτει την αντίφαση, λέγοντας απλά ότι δεν υπάρχει καμία συμμετρία στο πρόβλημα, αφού μόνο ο αδερφός που ταξιδεύει, υπόκειται σε επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις για να επιτύχει την σχετικιστική ταχύτητα, αλλά κατά την αλλαγή της πορείας του για την επιστροφή. Έτσι οι δύο περιπτώσεις διαφοροποιούνται, αφού ο αδερφός που είναι στην Γη παραμένει στο ίδιο σύστημα αναφοράς καθ' όλη την διάρκεια του ταξιδιού, σε αντίθεση με τον κινούμενο αδερφό του.

Μια άλλη εξήγηση, δόθηκε απ' τον Max von Laue το 1913 λέγοντας ότι ο δίδυμος που ταξιδεύει χρησιμοποιεί όχι ένα αλλά δύο αδρανειακά συστήματα: ένα για την απομακρυνόμενη διαδρομή και ένα για την διαδρομή της επιστροφής. Οι εξηγήσεις που δόθηκαν είχαν σαν βάση την βαρυτική διαστολή του χρόνου σαν αιτία της γήρανσης και όχι την επιτάχυνση, κάτι που προκύπτει από την γενική θεωρία της σχετικότητας.

Το παράδοξο αυτό έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι δεν ισχύει, χρησιμοποιώντας ακριβείς μετρήσεις ατομικών ρολογιών που τοποθετούνται σε αεροπλάνα και δορυφόρους και ταξιδεύουν γύρω από την Γη.

Στην ειδική σχετικότητα, δεν υπάρχει η έννοια του *απόλυτου παρόντος.* Το παρόν ορίζεται ως ένα σύνολο γεγονότων που είναι ταυτόχρονα από τη σκοπιά της συγκεκριμένου παρατηρητή. Η έννοια του ταυτόχρονου εξαρτάται από το αδρανειακό σύστημα, έτσι η μετάβαση μεταξύ αδρανειακών συστημάτων απαιτεί την αναπροσαρμογή του ορισμού του παρόντος. Εάν κάποιος θεωρεί ένα παρόν ως ένα επίπεδο στον χώρο Minkowski, τότε αν αλλάξει το αδρανειακό σύστημα έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της κλίσης του επιπέδου. Ας δούμε πως ερμηνεύεται το παράδοξο αυτό μέσω του διαγράμματος Minkowski.

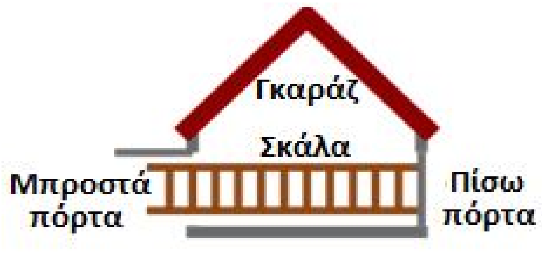
Διάγραμμα Minkowski για το παράδοξο των διδύμων



Το διάγραμμα χωροχρόνου είναι σχεδιασμένο για το αδρανειακό σύστημα του δίδυμου που θα παραμείνει στην Γη, η κοσμική γραμμή του δίδυμου, συμπίπτει με τον κατακόρυφο άξονα καθώς η θέση του είναι σταθερή στον χώρο και κινείται μόνο στο χρόνο. Όσον αφορά τον άλλον δίδυμο, αντιστοιχεί η μαύρη κεκλιμένη τεθλασμένη ευθεία για το πρώτο μέρος του ταξιδιού που απομακρύνεται απ’ την Γη και το δεύτερο μέρος όπου επιστρέφει. Οι μπλε γραμμές δείχνουν τα επίπεδα του ταυτόχρονου για το ταξίδι του δίδυμου κατά το πρώτο μέρος της διαδρομής και οι κόκκινες γραμμές, κατά τη διάρκεια του δεύτερου μέρους. Λίγο πριν αναστροφή, ο κινούμενος δίδυμος υπολογίζει την ηλικία του σταθερού δίδυμου μετρώντας το μήκος του κάθετου άξονα από την αρχή μέχρι την ανώτερη μπλε γραμμή. Ακριβώς μετά την αναστροφή, αν υπολογίσει το χρονικό διάστημα θα πρέπει να μετρήσει το μήκος του κάθετου άξονα από την αρχή μέχρι την κάτω κόκκινη γραμμή. Κατά μία έννοια, κατά την αναστροφή, το επίπεδο του ταυτόχρονου «πηδά» από το μπλε στο κόκκινο και πολύ γρήγορα σαρώνει ένα μεγάλο τμήμα της κοσμικής γραμμής του σταθερού δίδυμου. Έτσι ο κινούμενος δίδυμος εκτιμά ότι υπήρξε μια ασυνέχεια στην εξέλιξη της ηλικίας του σταθερού δίδυμου.

Το Παράδοξο της σκάλας

Το παράδοξο της σκάλας περιλαμβάνει μία σκάλα η οποία κινείται με σχετικιστική ταχύτητα και τελικά καταφέρνει και χωράει, λόγω της συστολής του μήκους, σε ένα γκαράζ που έχει πολύ μικρότερο μήκος από αυτήν. Αυτό συμβαίνει από την πλευρά του ακίνητου παρατηρητή σε σχέση με το γκαράζ. Αντίθετα, λόγω συμμετρίας, ο παρατηρητής ο οποίος βρίσκεται πάνω στην σκάλα, δηλαδή είναι ακίνητος σε σχέση με αυτήν, βλέπει το γκαράζ να έχει ακόμα μικρότερο μήκος, έτσι είναι ακόμα πιο δύσκολο να χωρέσει η σκάλα. Βλέπουμε ότι στα διαφορετικά αδρανειακά συστήματα περιμένουμε διαφορετικά αποτελέσματα.

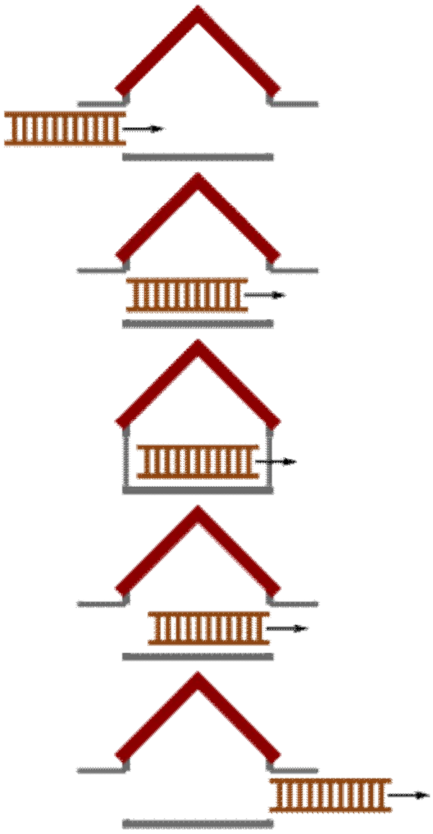


Σχήμα 1: Μια επισκόπηση του γκαράζ και της σκάλας σε ακινησία

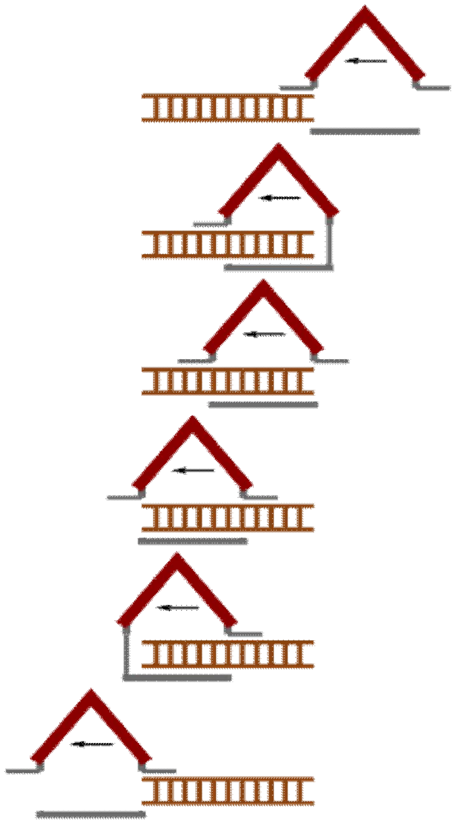
Σχήμα 2: Στο σύστημα του γκαράζ, η σκάλα υφίσταται συστολή μήκους και κατά συνέπεια θα χωράει στο γκαράζ.

Σχήμα 3: Στο σύστημα της σκάλας, το γκαράζ υφίσταται συστολή μήκους και φαίνεται πολύ μικρό για να χωρέσει τη σκάλα.

Αυτό το παράδοξο προκύπτει ως αποτέλεσμα του ταυτοχρονισμού. Στην σχετικότητα, το ταυτόχρονο είναι σχετικό για κάθε παρατηρητή και για κάθε αδρανειακό σύστημα, έτσι η σκάλα καταφέρνει και χωράει στο γκαράζ και της δύο περιπτώσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί στην δεύτερη περίπτωση όπου η σκάλα δεν χωράει στο γκαράζ (σχήμα 3), υπάρχει διαφορά στον χρόνο τον οποίο κλείνουν οι πόρτες του γκαράζ, της φαίνεται στο σχήμα 5, οι πόρτες δηλαδή δεν κλείνουν ταυτόχρονα καθώς υπάρχει διαστολή του χρόνου. Έτσι, η σκάλα καταφέρνει και είναι μες το γκαράζ, ενώ οι πόρτες είναι κλειστές (έστω και αν δεν κλείνουν ταυτόχρονα).



Σχήμα 4: Σενάριο στο σύστημα του γκαράζ - σκάλα που εισέρχεται και εξέρχεται από το γκαράζ.



Σχήμα 5: Σενάριο στο σύστημα της σκάλας - γκαράζ που διέρχεται πάνω από τη σκάλα.

.

8.Μαθηματικά της Ειδικής θεωρίας της Σχετικότητας

Σύμβαση Άθροισης του Einstein

Η σύμβαση άθροισης του Einstein καθιστά μια πιο συμπαγή μορφή στις εξισώσεις που περιέχουν τανυστές.

Υπάρχουν δύο κανόνες που συνθέτουν τη σύμβαση:

Πρώτον, ο βαθμός του τανυστή εκφράζεται από έναν δείκτη. Για παράδειγμα, **α** είναι ένας μονοδιάστατος τανυστής, $\boldsymbol{\alpha}_i$ αντιπροσωπεύει ένα διάνυσμα και $\boldsymbol{\alpha}_{i,j}$ αντιπροσωπεύει έναν πίνακα.

Δεύτερον, αν μια έκφραση περιέχει μεταβλητές στην θέση του δείκτη, αυτές θεωρούνται ότι είναι άθροισμα για όλες τις πιθανές τιμές, από το 0 μέχρι n. Για παράδειγμα, για τον ακόλουθο τύπο:

$$\mathrm{y}=\sum_{\mathrm{i}=1}^{3}\mathrm{c}_{\mathrm{i}}x^{i}=c_1x^1+c_2x^2+c_3x^3 \tag{2.20}$$

με την σύμβαση του Einstein θα γράφεται:

$$\mathrm{y}=\mathrm{c}_{\mathrm{i}}x^{i} \tag{2.21}$$

και στην περίπτωση όπου έχουμε μερική παράγωγο, όπως για παράδειγμα:

$$\nabla p=\frac{\partial p}{\partial x_0}i+\frac{\partial p}{\partial x_1}j+\frac{\partial p}{\partial x_2}k \tag{2.22}$$

θα γράφουμε:

$$\nabla p = p_{,i} \tag{2.23}$$

όπου το κόμμα προσδιορίζει την μερική παράγωγο.

Διάστημα μεταξύ δύο σημείων

Η φυσική του χωροχρόνου απαιτεί τέσσερις συντεταγμένες για την περιγραφή ενός σημείου στο χωροχρόνο:

$$ct = x^0 \qquad x = x^1 \qquad y = x^2 \qquad z = x^3 \tag{2.24}$$

όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός και x, y, και z οι συντεταγμένες χώρου.

Ένα σημείο πολύ κοντά στο αρχικό μας σημείο είναι το:

$$x^{\mu} + dx^{\mu} \qquad \text{με} \qquad \mu \in \{0,1,2,3\} \tag{2.25}$$

Το τετράγωνο της απόστασης, ή το διάστημα, μεταξύ των δύο σημείων είναι:

$$ds^2 = -\left(dx^0\right)^2 + \left(dx^1\right)^2 + \left(dx^2\right)^2 + \left(dx^3\right)^2 \tag{2.26}$$

και είναι αναλλοίωτο υπό τον μετασχηματισμό συντεταγμένων του Lorentz, δηλαδή, η αλλαγή των συντεταγμένων μέσω του μετασχηματισμού δεν μεταβάλει το αποτέλεσμα. Εδώ θεωρούμε τη μετρική Minkowski, καθώς αναφερόμαστε σε επίπεδο χωρόχρονο.

$$\eta_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{2.27}$$

Τετραδιανύσματα

Στην θεωρία της σχετικότητας, ένα τετραδιάνυσμα είναι ένα διάνυσμα σε ένα τεσσάρων διαστάσεων πραγματικό διανυσματικό χώρο, που ονομάζεται χώρος Minkowski. Διαφέρει από ένα διάνυσμα υπό την έννοια ότι μπορεί να μετασχηματιστεί από τον μετασχηματισμό Λόρεντζ . Οι τέσσερις διαστάσεις του διαστήματος υποδηλώνουν την διάσταση του χρόνου καθώς και τις τρείς διαστάσεις του χώρου.

Από εδώ και στο εξής με ελληνικούς χαρακτήρες (μ,ν,...) χαρακτηρίζονται οι 4-διάστατες συντεταγμένες (χωροχρονικές), ενώ με λατινικούς (i,j,...) τις 3-διάστατες (καθαρά χωρικές).

Ένα σημείο στο χώρο Minkowski ονομάζεται «γεγονός» και περιγράφεται σε μια σταθερή βάση από ένα σύνολο τεσσάρων συντεταγμένων:

$$x^{\mu} := (x^0, x^1, x^2, x^3) = (ct, x, y, z) \tag{2.28}$$

όπου μ = 0, 1, 2, 3 και αντιστοιχεί στις διαστάσεις του χωροχρόνου με *c* να είναι η ταχύτητα του φωτός. Ορίζοντας ότι X^0=ct εξασφαλίζουμε ότι όλες οι συντεταγμένες του τετρανύσματος έχουν τις ίδιες μονάδες μετρησης της απόστασης. Η *μετατόπιση του τετρανύσματος* ορίζεται ως ένα διάνυσμα που συνδέει δύο γεγονότα:

$$\Delta x^{\mu} := (\Delta ct, \Delta x, \Delta y, \Delta z) \tag{2.29}$$

Το εσωτερικό γινόμενο μεταξύ δύο τετρανυσμάτων **U** και **V** ορίζεται ως:

$$\mathbf{U}\cdot\mathbf{V} = \eta_{\mu\nu} U^{\mu} U^{\nu} = (U^0, U^1, U^2, U^3)\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} V^0 \\ V^1 \\ V^2 \\ V^3 \end{pmatrix} = U^0V^0 - U^1V^1 - U^2V^2 - U^3V^3 \tag{2.30}$$

Όπου $\eta_{\mu\nu}$ είναι η μετρική Minkowski και πολλές φορές ορίζεται και με το αντίθετο πρόσημο, δηλαδή:

$$\eta_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \tag{2.31}$$

έτσι θα έχουμε

$$\mathbf{U} \cdot \mathbf{V} = -U^0V^0 + U^1V^1 + U^2V^2 + U^3V^3 \tag{2.32}$$

Μια σημαντική ιδιότητα του εσωτερικού γινομένου, είναι παραμένει αναλλοίωτο, δηλαδή, η αλλαγή των συντεταγμένων μέσω του μετασχηματισμού του Lorentz δεν μεταβάλει το αποτέλεσμα του εσωτερικού γινομένου.

Τετρα-ταχύτητα

Στην φυσική, ιδίως στην ειδική και τη γενική σχετικότητα, ο τετραταχύτητα ενός αντικειμένου είναι ένα τετράνυσμα (με τέσσερις διαστάσεις χωροχρόνου), το οποία αντικαθιστά την κλασική ταχύτητα (ένα τρισδιάστατο διάνυσμα). Επιλέγεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε η ταχύτητα του φωτός να είναι σταθερή σε κάθε αδρανειακό σύστημα αναφοράς.

Στην θεωρία της σχετικότητας, το ίχνος ενός κινούμενου αντικειμένου σε σχέση με ένα συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς, ορίζεται από τέσσερις συντεταγμένες που είναι συναρτήσεις του χρόνου,

$$x^{\mu}(\tau) \qquad \text{με} \qquad \mu \in \{0,1,2,3\} \tag{2.33}$$

Ο χρόνος αυτός καλείται ιδιόχρονος του συστήματος αναφοράς.

$$\mathbf{x} = x^{\mu}(\tau) = \begin{bmatrix} x^0(\tau) \\ x^1(\tau) \\ x^2(\tau) \\ x^3(\tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ct \\ x^1(t) \\ x^2(t) \\ x^3(t) \end{bmatrix} \tag{2.34}$$

Από την διαστολή του χρόνου γνωρίζουμε

$$t = \gamma\tau \tag{2.35}$$

με γ να είναι ο παράγοντας Lorentz

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} \tag{2.36}$$

και *u* είναι η Ευκλείδεια νόρμα του κλασικού διανύσματος της ταχύτητας $\vec{u}$:

$$\mathbf{u} = \| \vec{u} \| = \sqrt{\left(u^1\right)^2 + \left(u^2\right)^2 + \left(u^3\right)^2} \tag{2.37}$$

Η τετραταχύτητα είναι ένα εφαπτόμενο τετραδιάνυσμα στην κοσμική γραμμή Χ(τ) και ορίζεται ως εξής:

$$\mathbf{U} = \frac{d\mathbf{x}}{d\tau} \tag{2.38}$$

με τ ο ιδιόχρονος του συστήματος.

Επειδή

$$x^0 = ct = c\gamma\tau \tag{2.39}$$

και η παράγωγος ως προς τ, έχουμε ότι η συνιστώσα της U^μ για μ=0,

$$U^0 = \frac{dx^0}{d\tau} = c\gamma \tag{2.40}$$

Επίσης χρησιμοποιώντας τον κανόνα της αλυσίδας, για μ = *i* = 1, 2, 3, έχουμε

$$U^i = \frac{dx^i}{d\tau} = \frac{dx^i}{dx^0}\frac{dx^0}{d\tau} = \frac{dx^i}{dx^0}c\gamma = \frac{dx^i}{d\left(ct\right)}c\gamma = \frac{1}{c}\frac{dx^i}{dt}c\gamma = \gamma\frac{dx^i}{dt} = \gamma u^i$$

(2.41)

Άρα η τετραταχύτητα είναι:

$$U^\mu = \gamma\left(c, \vec{u}\right) \tag{2.42}$$

Σε ένα σύστημα αναφοράς που ηρεμεί, δηλαδή με γ=0 και $\vec{u} = 0$, έχουμε ότι

$$U^\mu = \left(c, 0, 0, 0\right) \tag{2.43}$$

Σε κάθε σύστημα αναφοράς έχουμε

$$U_\mu U^\mu = -c^2$$

(2.44)

Όταν η μετρική Minkowski είναι (-1,1,1,1), ενώ σε αντίθετη περίπτωση όπου η=(1,-1,-1,-1), τότε

$$U_\mu U^\mu = +c^2$$

(2.45)

Ωστόσο, και στις δύο περιπτώσεις, η ευκλείδια νόρμα του τετρανύσματος θα είναι:

$$\|U\| = \sqrt{|U_\mu U^\mu|} = c \tag{2.46}$$

Βλέπουμε ότι η νόρμα της τετραταχύτητας είναι πάντοτε ίση με την ταχύτητα του φωτός. Μπορούμε να συμπεράνουμε λοιπόν ότι τα πάντα μονίμως ‘’κινούνται’’, διαμέσω του χωρόχρονου, με την ταχύτητα του φωτός. Αυτό μας βοηθάει να κατανοήσουμε καλύτερα την διαστολή του χρόνου καθώς, ένας πύραυλος που κινείται με σχετικιστική ταχύτητα, κινείται γρηγορότερα στον χώρο και πιο αργά στον χρόνο, έτσι ώστε να διατηρήσει την τετραταχύτητα του σταθερή. Για αυτό για έναν ακίνητο παρατηρητή ένα ρολόι που βρίσκεται στον πύραυλο μετράει τον χρόνο πιο αργά απ' ότι ένα ακίνητο ρολόι. Το φώς αυτό καθ' αυτό αποτελεί μια ξεχωριστή περίπτωση, αφού η διαρκής κίνησή του, με το μέγιστο των ταχυτήτων, διαμέσω του χώρου, αφήνει μηδενικά περιθώρια στην κίνησή του στον χρόνο. Για αυτό το φώς και οτιδήποτε άλλο που κινείται με την ταχύτητα του φωτός, δεν ''αίσθάνεται'' την ροή του χρόνου!

Τετρα-ορμή

Όπως και η τετραταχύτητα, στην ειδική όσο και στη γενική θεωρία της σχετικότητας, η τετραορμή είναι μια γενίκευση της κλασικής τρισδιάστατης ορμής στον τετραδιάστατο χωρόχρονο. Έτσι η τετραορμή ενός σωματιδίου με ορμή $\vec{p} = \left(p_x, p_y, p_z\right)$ και ενέργεια Ε είναι:

$$P_\mu = \begin{pmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E/c \\ p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} \tag{2.47}$$

Η τετραορμή είναι πολύ χρήσιμη για σχετικιστικούς υπολογισμούς καθώς αποτελεί ένα διάνυσμα Lorentz. Γι' αυτό είναι εύκολο να παρακολουθήσεις πώς μετασχηματίζεται κάτω απ' τους μετασχηματισμούς Loretnz.

Υπολογίζοντας την νόρμα της τετραορμής, μας δίνει μια αναλλοίωτη ποσότητα που ισούται με το τετράγωνο της μάζας ηρεμίας του σωματιδίου, δηλαδή

$$-\|\mathbf{P}\|^2 = -P^\mu P_\mu = -\eta_{\mu\nu} P^\mu P^\nu = \frac{E^2}{c^2} - |\vec{p}|^2 = m^2 c^2 \tag{2.48}$$

όπου θεωρούμε $\eta_{\mu\nu}$ = (-1;1;1;1)

Η ποσότητα $||P||^2$ παραμένει αναλλοίωτη κάτω απ’ τον μετασχηματισμό του Lorentz.

Για ένα σωματίδιο με μάζα, η τετραορμή του είναι ίση με το γινόμενο της μάζας ηρεμίας του με την τετραταχύτητα του σωματιδίου.

$$P^{\mu} = mU^{\mu} \tag{2.49}$$

όπου αυτή είναι και η σχέση μεταξύ τετραορμής και τετραταχύτητας, με την τετραταχύτητα να ισούται με:

$$\begin{pmatrix} U^0 \\ U^1 \\ U^2 \\ U^3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma c \\ \gamma \upsilon_x \\ \gamma \upsilon_y \\ \gamma \upsilon_z \end{pmatrix} \tag{2.50}$$

με γ να είναι ο παράγοντας Lorentz

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \tag{2.51}$$

Να σημειώσουμε ότι η τετραορμή είναι μέγεθος αναλλοίωτο και διατηρείται!

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

Η Γενική θεωρία της Σχετικότητας

1) ***Εισαγωγή***

2) ***Η Γεωμετρία της Νευτώνιας Βαρύτητας***

3) ***Η Αρχή της Ισοδυναμίας***

4) ***Απ' την Ειδική στη Γενική θεωρία Σχετικότητας – Ιστορικά Στοιχεία***

5) ***Εξισώσεις Πεδίου του Einstein***

6) ***Η Κοσμολογική Σταθερά***

7) ***Μαύρες τρύπες ή μελανές οπές***

8) ***Λύσεις των εξισώσεων του Einstein***
   - ***Η λύση Schwarzschild***
   - ***Η λύση Kerr***
   - ***Η λύση Reissner-Nordström***
   - ***Η λύση Friedmann - Lemaître - Robertson – Walker***
   - ***Η λύση Einstein - de Sitter***

9) ***Συνέπειες της Γενικής θεωρίας της Σχετικότητας***
   - ***Βαρυτική διαστολή του χρόνου και μεταβολή της συχνότητας του φωτός***
   - ***Εκτροπή Φωτός και Βαρυτική Χρονική Καθυστέρηση (Shapiro effect)***
   - ***Βαρυτικά Κύματα***
   - ***Τροχιακή Μετάπτωση ή Μετάπτωση των Αψίδων***
   - ***Τροχιακή Εξασθένηση***
   - ***Γεωδαιτικές Μεταπτώσεις - το φαινόμενο Frame Dragging και ο δορυφόρος Gravity Probe B***
   - ***Βαρυτικός Φακός και οι Εφαρμογές του***

1.Εισαγωγή

Η γενική θεωρία της σχετικότητας είναι μια γεωμετρική θεωρία της βαρύτητας που δημοσίευσε ο Albert Einstein το 1915. Πρόκειται για την τωρινή περιγραφή της βαρύτητας στη σύγχρονη φυσική. Γενικεύει την ειδική σχετικότητα και το νόμο του Νεύτωνα για την βαρύτητα, παρέχοντας μια ενιαία περιγραφή της βαρύτητας ως γεωμετρική ιδιότητα του χώρου και του χρόνου, ή χωροχρόνου. Ειδικότερα, η καμπυλότητα του χωροχρόνου είναι άμεσα συνδεδεμένη με την τετραορμή, ανεξάρτητα από την παρουσία ύλης και ακτινοβολίας. Η σχέση αυτή καθορίζεται από τον εξισώσεις πεδίου Einstein που είναι ένα σύστημα μερικών διαφορικών εξισώσεων. Έτσι παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στις προβλέψεις της γενικής θεωρίας με εκείνες της κλασικής φυσικής του Νεύτωνα. Πολλά πειράματα και παρατηρήσεις, δείχνουν ότι η περιγραφή του Αϊνστάιν για την βαρύτητα εξηγεί αρκετά αποτελέσματα που ήταν ανεξήγητα από το νόμο του Νεύτωνα. Τέτοια παραδείγματα είναι οι μικρές μετατοπίσεις του περιηλίου του Ερμή και άλλων πλανητών, η βαρυτική διαστολή του χρόνου, η μετατόπιση του φάσματος του φωτός προς το ερυθρό λόγω της βαρύτητας, στρέβλωση του χωρόχρονου κοντά σε μεγάλες μάζες κ.α.

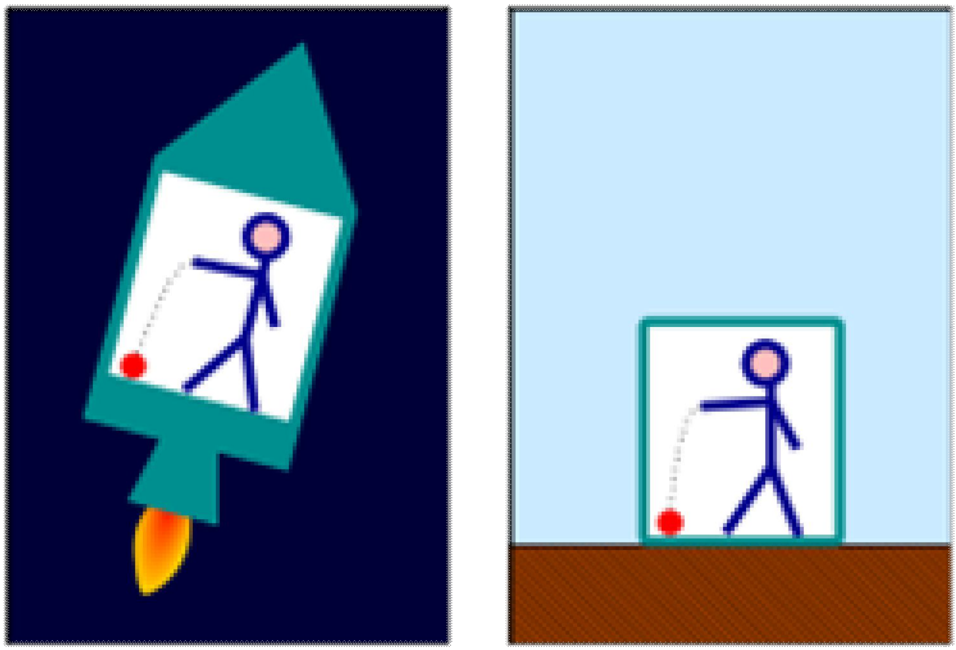
Πολλές από αυτές οι προβλέψεις έχουν επιβεβαιωθεί πειραματικά, ωστόσο, παραμένουν πολλά αναπάντητα ερωτήματα με το πιο θεμελιώδες να είναι, πως η γενική σχετικότητα μπορεί να συμβιβαστεί με τους νόμους της κβαντικής φυσικής ώστε να παράγουν μία πλήρη θεωρία, την θεωρία της κβαντικής βαρύτητας.

Επίσης η γενική σχετικότητα έχει εξελιχθεί σε βασικό εργαλείο της σύγχρονης αστροφυσικής. Για παράδειγμα, παρέχει τα εργαλεία για την αντίληψη των μαύρων οπών, δηλαδή οι περιοχές του διαστήματος όπου βαρυτική έλξη είναι τόσο ισχυρή που ούτε το φως δεν μπορεί να δραπετεύσει, καθώς και την βάση των σημερινών κοσμολογικών μοντέλων σχετικά με την δημιουργία αλλά και την εξέλιξη του σύμπαντος. Αλλά, τι εννοούμε όταν αναφερόμαστε στην γεωμετρία της βαρύτητας;

2.Η Γεωμετρία της Νευτώνιας Βαρύτητας

Ας δούμε ένα παράδειγμα που θα βοηθήσει να καταλάβουμε γενικότερα την έννοια της βαρύτητας.

Έστω ένας παρατηρητής μέσα σε ένα κλειστό δωμάτιο που πετάει μια μπάλα. Η πορεία που διαγράφει η μπάλα και η έλξη που νιώθει ο παρατηρητής απ' το πάτωμα, θα μπορούσε να εξομοιωθεί με έναν επιταχυνόμενο πύραυλο με σταθερή επιτάχυνση ίση με αυτήν της επιτάχυνσης της βαρύτητας στην Γή. Έτσι λοιπόν, ο παρατηρητής είναι αδύνατο να είναι σίγουρος, έχοντας ως κριτήριο την ρίψη ενός αντικειμένου και γενικότερα τις αισθήσεις του, αν το δωμάτιο είναι σε κατάσταση ηρεμίας μέσα σε ένα βαρυτικό πεδίο, ή στο διάστημα μέσα σε έναν επιταχυνόμενο πύραυλο που δημιουργεί συνθήκες όμοιες με του βαρυτικού πεδίου.



Στην ελεύθερη πτώση, η πορεία ενός σώματος είναι ανεξάρτητη απ' τις υλικές ιδιότητες του σώματος, δηλαδή η αδρανειακή μάζα ισούται με την βαρυτική ($m_\alpha = m_\beta$).

- Η αδρανειακή μάζα προκύπτει από την

  $F = m_\alpha a$,

  με m_α η αδρανειακή μάζα.

- Η βαρυτική μάζα προκύπτει από την

  $\mathrm{B} = m_\beta g$,

  με m_β η βαρυτική μάζα.

Στην κλασική μηχανική, η βαρυτική μάζα με την αδρανειακή μάζα είναι ίσες ($m_\alpha = m_\beta$).

Έτσι λοιπόν, δεν υπάρχει παρατηρήσιμη διάκριση μεταξύ της αδρανειακής κίνησης και της κίνησης κάτω από την επίδραση μιας βαρυτικής δύναμης. Αυτό υποδηλώνει τον ορισμό μιας νέας κατηγορίας αδρανειακής κίνησης, δηλαδή των αντικειμένων σε ελεύθερη πτώση κάτω από την επίδραση της βαρύτητας. Αυτή η νέα κατηγορία κινήσεων, καθορίζει μια γεωμετρία του χώρου και του χρόνου. Με μαθηματικούς όρους, είναι μια γεωδαιτική κίνηση που συνδέεται με μια συγκεκριμένη σύνδεση η οποία εξαρτάται από την κλίση του βαρυτικού δυναμικού. Ο χώρος σ' αυτές τις συνθήκες εξακολουθεί και περιγράφεται από την Ευκλείδια γεωμετρία, όχι όμως και ο χωρόχρονος όπου η περιγραφή του είναι πιο πολύπλοκη, καθώς αποδεικνύεται ότι είναι κυρτός. Το αποτέλεσμα είναι μια γεωμετρική διαμόρφωση της νευτώνειας βαρύτητας χρησιμοποιώντας μόνο συναλλοίωτες έννοιες, δηλαδή μια περιγραφή που να ισχύει σε κάθε επιθυμητό σύστημα αναφοράς. Σε αυτή την γεωμετρική περιγραφή, τα παλιρροιακά φαινόμενα, δηλαδή, η σχετική επιτάχυνση των μαζών που βρίσκονται σε ελεύθερη πτώση, σχετίζονται με την παράγωγο της σύνδεσης, δείχνοντας πως η τροποποιημένη γεωμετρία προκαλείται από την παρουσία της μάζας. Η σύνδεση εκφράζεται μαθηματικά με τα σύμβολα Christoffel τα οποία θα δούμε παρακάτω. Στην Γενική θεωρία της Σχετικότητας, τα σύμβολα Christoffel παίζουν τον ρόλο της έντασης του βαρυτικού πεδίου και η μετρική το βαρυτικό δυναμικό.

Αυτή η σκέψη, όπως επίσης και η αρχή της ισοδυναμίας προκάλεσε τον Einstein για την επέκταση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας στην γενική θεωρία.

3.Η αρχή της Ισοδυναμίας

Ένας άνθρωπος που βρίσκεται μέσα σε ένα ασανσέρ που εκτελεί ελεύθερη πτώση, αντιλαμβάνεται την έλλειψη βαρύτητας. Βλέπει τα αντικείμενα γύρω του να αιωρούνται ακίνητα ή κινούμενα με σταθερή ταχύτητα. Δεδομένου ότι τα πάντα στο ασανσέρ πέφτουν μαζί, η βαρυτική επίδραση δεν μπορεί να παρατηρηθεί. Με αυτήν την λογική, ο παρατηρητής μέσα στο ασανσέρ που εκτελεί ελεύθερη πτώση, αισθάνεται όμοια με έναν παρατηρητή που βρίσκεται στο βαθύ διάστημα, μακριά από κάθε πηγή της βαρύτητας. Αυτοί οι παρατηρητές είναι αδρανειακοί παρατηρητές.

Η προσέγγιση αυτή του Einstein για την βαρύτητα, ονομάστηκε μετέπειτα ως *Αρχή της Ισοδυναμίας* και τον ενέπνευσε αργότερα για την δημιουργία της γενικής θεωρίας της σχετικότητας. Μια απλοποιημένη εξήγηση της αρχής τη Ισοδυναμίας είναι, ότι, ένας παρατηρητής σε ελεύθερη πτώση μέσα σε ένα ασανσέρ, δεν μπορεί να πει ότι βρίσκεται σε ελεύθερη πτώση.

Στη θεωρία της Σχετικότητας, η αρχή της ισοδυναμίας έχει να κάνει με διάφορες έννοιες που ασχολούνται με την ισοδυναμία της βαρύτητας και της αδρανειακής μάζας, καθώς και με τον ισχυρισμό του Άλμπερτ Αϊνστάιν ότι η βαρυτική δύναμη, όπως τη βιώνουμε σε τοπικό επίπεδο, ενώ στεκόμαστε πάνω σε ένα τεράστιο σώμα, όπως η Γη, μπορεί να είναι στην πραγματικότητα η ίδια με μια *ψευδο-δύναμη* που δέχεται ένας παρατηρητής σε ένα μη αδρανειακό (επιταχυνόμενο) σύστημα αναφοράς.

Με λίγα λόγια, η αρχή της ισοδυναμίας λέει: **Ένα επιταχυνόμενο σύστημα αναφοράς είναι ανάλογο με ένα σύστημα που βρίσκεται εντός βαρυτικού πεδίου**.

Η αρχή της ισοδυναμίας είναι η βασικότερη αρχή για την θεμελίωση της Γενικής θεωρίας της σχετικότητας, όπου υπεισέρχεται η βαρύτητα. Για να δούμε όμως πως περάσαμε απ' την ειδική στη γενική θεωρία της Σχετικότητας.

4.Απ' την Ειδική στη Γενική θεωρία Σχετικότητας – Ιστορικά Στοιχεία

Τον Σεπτέμβριο του 1905, ο Albert Einstein δημοσίευσε τη θεωρία της ειδικής σχετικότητας, η οποία ενοποιεί τους νόμους του Νεύτωνα για την κίνηση, με την ηλεκτροδυναμική (την αλληλεπίδραση μεταξύ αντικειμένων με ηλεκτρικό φορτίο). Η Ειδική σχετικότητα εισήγαγε ένα νέο πλαίσιο για όλα τα είδη φυσικής, προτείνοντας νέες έννοιες για τον χώρο και τον χρόνο. Λίγο μετά τη δημοσίευση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας, ο Einstein άρχισε να σκέφτεται για το πώς θα ενσωματώσει τη βαρύτητα στο νέο αυτό σχετικιστικό πλαίσιο. Το 1907, ξεκίνησε με ένα απλό πείραμα σκέψης που βασίζεται σε έναν παρατηρητή σε ελεύθερη πτώση, και μετά από πολλές παρακάμψεις και λανθασμένες υποθέσεις, το έργο του κορυφώθηκε το Νοέμβριο του 1915 με την παρουσίαση του στην Πρωσική

Ακαδημία Επιστημών, όπου παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά αυτό που σήμερα είναι γνωστό ως εξισώσεις πεδίου Einstein. Οι εξισώσεις πεδίου Einstein είναι ένα σύστημα μη γραμμικών διαφορικών εξισώσεων που είναι δύσκολο να λυθεί. Ο Einstein χρησιμοποίησε προσεγγιστικές μεθόδους για να φτάσει στις αρχικές προβλέψεις της θεωρίας του. Ο πρώτος που κατάφερε να λύσει αυτές τις εξισώσεις ήταν ο αστροφυσικός Karl Schwarzschild όπου βρήκε μια μη τετριμμένη ακριβή λύση στις εξισώσεις πεδίου την λεγόμενη και ως μετρική Schwarzschild. Η λύση αυτή έθεσε τα θεμέλια για την περιγραφή του τελικού σταδίου της βαρυτικής κατάρρευσης που είναι γνωστή σήμερα ως μαύρη τρύπα. Στην συνέχεια ακολούθησαν και άλλες λύσεις οι οποίες ερμήνευαν διαφορετικά φαινόμενα, που μέχρι τότε παρέμεναν ανεξιχνίαστα από μαθηματικής και όχι μόνο σκοπιάς.

Εκείνη την περίοδο η γενική σχετικότητα δεν λάμβανε την πλήρη αποδοχή από τον κόσμο της φυσικής παρόλο που επιβεβαίωνε πολλές φαινομενολογικές προβλέψεις. Θεωρείτο σαφώς μια ανώτερη θεωρία από αυτήν του Νεύτωνα, πολλοί όμως διατηρούσαν τις επιφυλάξεις τους. Ωστόσο, την περίοδο 1960 μέχρι 1975, όπου ήταν η χρυσή περίοδος για την θεωρία της σχετικότητας, αποτέλεσε τον βασικό κορμό για την ανάπτυξη της θεωρητικής φυσικής και της σχετικιστικής κοσμολογίας. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, η γενική θεωρία επιβεβαιωνόταν όλο και περισσότερο και ακόμα και σήμερα θεωρείται το αποκορύφωμα της επιστημονικής σκέψης.

Ήρθε η ώρα να δούμε λοιπόν, την μαθηματική περιγραφή της γεωμετρίας του χωροχρόνου και πώς αυτός καμπυλώνεται με την παρουσία κάποιας μάζας ή ενέργειας.

5.Εξισώσεις Πεδίου του Einstein

Έχουμε εξηγήσει μέχρι τώρα ότι στην νευτώνια θεωρία, την πηγή της βαρύτητας αποτελεί η μάζα. Με την ειδική θεωρία της σχετικότητας, είδαμε ότι η μάζα περιγράφεται από μια πιο γενική ποσότητα, τον τανυστή της ορμής – ενέργειας. Στην γενική θεωρία της σχετικότητας βλέπουμε ότι η βαρύτητα είναι αποτέλεσμα της καμπύλωσης του χωροχρόνου, που προκαλείται απ' την παρουσία ύλης και ενέργειας. Όπως οι εξισώσεις του Maxwell στον ηλεκρομαγνητισμό, περιγράφουν το πώς τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία καθορίζονται από τα φορτία και τα ρεύματα που περικλείουν, έτσι και οι εξισώσεις πεδίου του Einstein, περιγράφουν την γεωμετρία του χωρόχρονου η οποία προκύπτει απ' την παρουσία της μάζας και ενέργειας.

Ας δούμε λοιπόν την μορφή αυτών των εξισώσεων και στη πορεία θα προσπαθήσουμε να τις κατανοήσουμε περισσότερο.

Οι εξισώσεις πεδίου Einstein γράφονται στη μορφή:

$$R_{ab} - \frac{1}{2} R g_{ab} = \kappa T_{ab} \tag{3.1}$$

όπου R_{ab} είναι ο τανυστής καμπυλότητας Ricci,

R η μονοδιάστατη καμπυλότητα,

g_{ab} ο μετρικός τανυστής,

$\kappa=8\pi G/c^4$ με G την σταθερά παγκόσμιας έλξης

και T_{ab} ο τανυστής της ενέργειας

Παρά την σχετικά απλή μορφή της, στην πραγματικότητα είναι ένα σύστημα μη γραμμικών διαφορικών εξισώσεων που επιλύεται δύσκολα.

Το αριστερό μέλος της εξίσωσης, είναι ο τανυστής Einstein και συμβολίζεται και ως G_{ab}. ($G_{\alpha b} = R_{ab} - \frac{1}{2} R g_{ab}$)

Ο τανυστής Einstein αποτελείται από δύο μέρη,

Πρώτον τον τανυστή Ricci

$$R_{ab} = R^{d}{}_{adb} \tag{3.2}$$

ο οποίος είναι η ειδική περίπτωση ενός γενικότερου τανυστή, του τανυστή καμπυλότητας του Reimann, ($R^{a}{}_{bcd,}$)

και δεύτερον το γινόμενο της μονοδιάστατης καμπυλότητας με τον μετρικό τανυστή.

Η μονοδιάστατη καμπυλότητα είναι το γινόμενο του τανυστή Ricci με την μετρική:

$$R = R_{cd}\, g^{cd} \tag{3.3}$$

και είναι ένα βαθμωτό μέγεθος.

Περισσότερες λεπτομέριες, πάνω στο μαθηματικό σκέλος, εμφανίζονται στο επόμενο κεφάλαιο (Εφαρμογές), όπου παρατίθενται δύο παραδείγματα ακριβών λύσεων της εξίσωσης πεδίου του Einstein.

Στο δεξί μέλος της εξίσωσης (3.1), υπάρχει ο τανυστής ορμής – ενέργειας T_{ab} πολλαπλασιασμένος με την σταθερά $\boldsymbol{K}$.

Όταν δεν υπάρχει παρουσία ύλης και ενέργειας, δηλαδή στο κενό, όπου $T_{\alpha\beta}=0$, τότε οι εξισώσεις Einstein γράφονται:

$$R_{ab} = 0 \tag{3.4}$$

καμιά φορά για λόγους ευκολίας χρησιμοποιύμε παραμετροποιημένες μονάδες έτσι ώστε G=c=1 και η εξίσωση γράφεται

$$G_{\mu\nu} = 8\pi\, T_{\mu\nu} \tag{3.5}$$

Οι εξισώσεις πεδίου του Einstein έχουν στο αριστερό μέλος την γεωμετρία του χωρόχρονου και στο δεξί τον τανυστή ορμής-ενέργειας. Στην ουσία μας δείχνουν, δηλαδη, το πώς καμπυλώνεται ο χωρόχρονος υπό την παρουσία της ύλης και της ενέργειας! Όπως πολύ σωστά εξέφρασε και ο θεωρητικός φυσικός J.A.Wheeler, « ο χωροχρόνος λέει στη ύλη πώς να κινηθεί και η ύλη λέει στον χωροχρόνο πώς να καμπυλωθεί». Σύμφωνα λοιπόν με τον Einstein, **η βαρύτητα δεν θεωρείται ως το αποτέλεσμα μιας δύναμης, αλλά οφείλεται στην καμπύλωση του χωρόχρονου η οποία προκαλείται από την περιεχόμενη ύλη και ενέργεια.**

Οι εξισώσεις αυτές, όμως, ήταν πλήρεις για την περιγραφή ενός επαρκούς κοσμολογικού μοντέλου για το σύμπαν;

6.Η Κοσμολογική Σταθερά

Ο Einstein με μια «δεύτερη ανάγνωση» της θεωρίας του, διαπίστωσε ότι οι εξισώσεις του προέβλεπαν ένα σύμπαν το οποίο δεν θα μπορούσε ποτέ να είναι σταθερό σε μέγεθος. Λόγω της βαρύτητας, κάτω από οποιαδήποτε αρχική δυναμική ισορροπία που θα μπορούσε να έχει το σύμπαν, θα οδηγούνταν σε μια συνεχή συρρίκνωση. Αυτή η σκέψη οδήγησε τον Einstein στην εισαγωγή ενός νέου όρου στις εξισώσεις πεδίου του, τον όρο που περιέχει την κοσμολογική σταθερά Λ.

Να δούμε πως γράφονται οι εξισώσεις πεδίου του Einstein με την εισαγωγή του νέου όρου.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \qquad (3.6)$$

Όπως έχουμε προαναφέρει,

$R_{\mu\nu}$ είναι ο τανυστής καμπυλότητας Ricci,

R η μονοδιάστατη καμπυλότητα,

$g_{\mu\nu}$ ο μετρικός τανυστής,

G η σταθερά της παγκόσμιας έλξης,

$T_{\mu\nu}$ ο τανυστής της ενέργειας και

Λ είναι η κοσμολογική σταθερά και την θεωρούμε ίση με $8\pi\rho_{VAC}$, είναι ανάλογη δηλαδή με την ενεργειακή πυκνότητα του κενού.

Η εξίσωση του Einstein γράφεται για χάριν συντομίας και ως:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu} \tag{3.7}$$

με

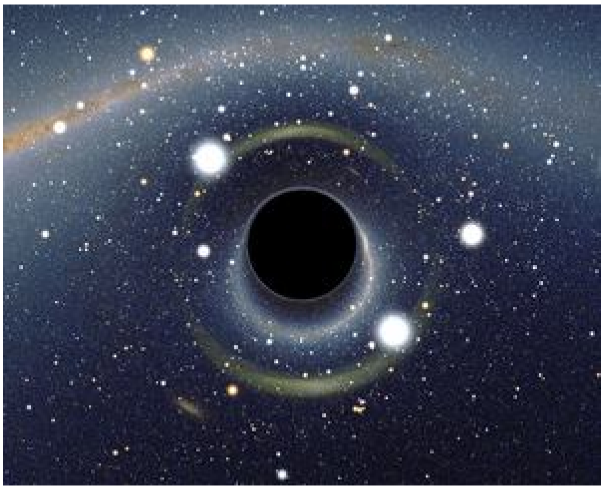
$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} \tag{3.8}$$

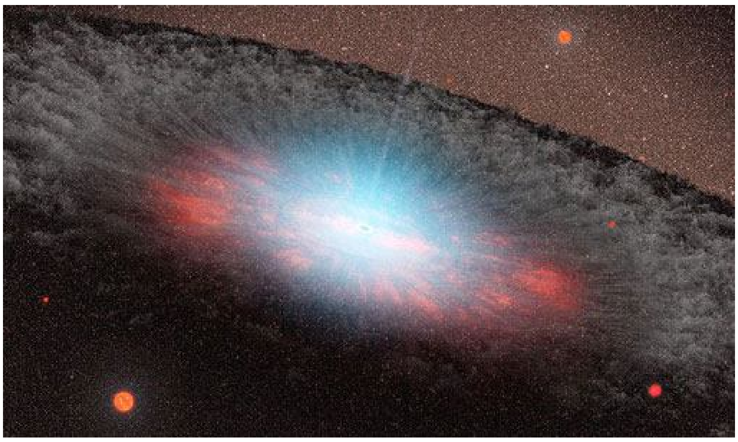
Παρά το ότι ο Einstein αποσκοπούσε να περιγράψει ένα σύμπαν σταθερό εισάγοντας την κοσμολογική σταθερά, το 1929 ο Edwin Hubble παρατήρησε ότι το σύμπαν δεν παραμένει αμετάβλητο σε μέγεθος, αλλά διαστέλλεται. Μετά από αυτήν την παρατήρηση, ο Einstein εγκατέλειψε την ιδέα του περί κοσμολογικής σταθεράς αποκαλώντας την μάλιστα ως την μεγαλύτερη ‘’γκάφα’’ που έκανε ποτέ. Έτσι η κοσμολογική σταθερά για πολλά χρόνια θεωρείτο ίση με μηδέν μέχρι την ανακάλυψη της επιταχυνόμενης διαστολής του σύμπαντος την δεκαετία του ’90 όπου αναθερμάνθηκε το ενδιαφέρον για την μη μηδενική τιμή της κοσμολογικής σταθεράς. Έκτοτε, έχει δοθεί μια πιο εναλλακτική και ταυτόχρονα φιλοσοφική προσέγγιση για την τιμή της κοσμολογικής σταθεράς η οποία ανάλογα με την τιμή της προσεγγίζει και ένα διαφορετικό μοντέλο για την εξέλιξη του σύμπαντος.

Οι εξισώσεις του Einstein, κατάφεραν να εξηγήσουν με μεγάλη ακρίβεια, το μεγαλύτερο μέρος του σύμπαντος. Θα καταφέρουν όμως να περιγράψουν και τον χώρο γύρω από μια μαύρη τρύπα, όπου η βαρυτική δύναμη γύρω της είναι τεράστια;

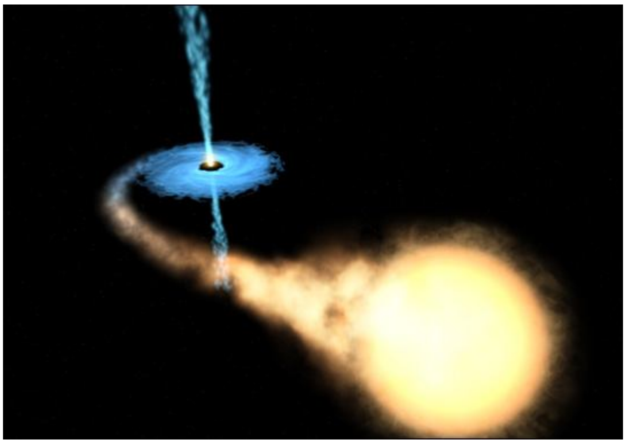
7.Μαύρες τρύπες ή μελανές οπές

Ας δούμε λοιπόν τι είναι μια μαύρη τρύπα. Μια μαύρη τρύπα είναι μια περιοχή του διαστήματος από την οποία τίποτα δεν μπορεί να δραπετεύσει αν εισέλθει στο βαρυτικό της πεδίο, ούτε ακόμα το φως. Είναι το αποτέλεσμα της παραμόρφωσης του χωροχρόνου που προκαλείται από τον θάνατο ενός αστέρα με μάζα δεκάδες ή και εκατοντάδες φορές μεγαλύτερο από τον ήλιο μας. Γύρω από μια μαύρη τρύπα υπάρχει ένα ανιχνεύσιμο όριο που σηματοδοτεί το σημείο της μη επιστροφής και ονομάζεται **ορίζοντας γεγονότων**. Στο κέντρο της μαύρης τρύπας βρίσκεται μια ιδιομορφία, δηλαδή, μια περιοχή όπου οι παρόντες νόμοι της φυσικής δεν μπορούν να περιγράψουν επειδή οι συνθήκες εκεί είναι ακραίες. Λέγεται "μαύρη" γιατί απορροφά όλο το φως που πέφτει επάνω της χωρίς να αντανακλάται τίποτα. Παρά το γεγονός ότι η μαύρη τρύπα είναι αόρατη, μπορούμε να την παρατηρήσουμε μέσω της αλληλεπίδρασης της με την γύρω ύλη. Έχουμε καταφέρει να εντοπίσουμε πάρα πολλές μαύρες τρύπες και μάλιστα υπάρχουν σοβαρότατες ενδείξεις ότι στο κέντρο του γαλαξία μας υπάρχει μια υπερμεγέθης μαύρη τρύπα με μάζα κοντά στις 4 εκατομμύρια ηλιακές μάζες. Παρά τον άγριο αυτό χαρακτήρα που αντιλαμβανόμαστε για τις μαύρες τρύπες, μπορούμε να πούμε ότι είναι υπεύθυνες για τον σχηματισμό και την συντήρηση της όποιας δομής υπάρχει στο σύμπαν, όπως οι γαλαξίες αλλά και μεγαλύτεροι κοσμικοί σχηματισμοί.

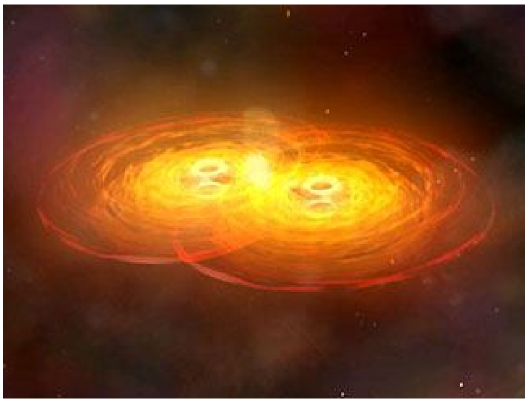




Καθώς μια μαύρη τρύπα πλησιάζει ένα ουράνιο σώμα, αρχίζει να αποσπά απ’ αυτό δομικά υλικά όπως ύλη ή αέρια. Όλα αυτά αφού στροβιλιστούν με μεγάλη ταχύτητα γύρω από την μαύρη τρύπα, συσσωρεύονται στο κέντρο της δημιουργώντας μια πολύ μικρή περιοχή με τεράστια πυκνότητα που έχει ως αποτέλεσμα την εκτόξευση δύο πιδάκων εκατέρωθεν της μαύρης τρύπας. Οι σχετικιστικοί αυτοί πίδακες, είναι ακτίνες σωματιδίων υψηλής ενέργειας που εκτοξεύονται στο διάστημα με ταχύτητες κοντά στην ταχύτητα του φωτός. Αυτός είναι ένας μηχανισμός των μύρων τρυπών, που μετατρέπει την βαρυτική ενέργεια σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η γενική θεωρία της σχετικότητας διαδραματίζει τον κύριο λόγο στην μελέτη και διαμόρφωση των αποτελεσμάτων αυτών, καθώς και την πρόβλεψη κι άλλων ιδιοτήτων των μαύρων τρυπών που επιβεβαιώνονται από παρατηρήσεις.



Η μελέτη των μαύρων τρυπών μπορεί να μας παρέχει δείγματα για την ανίχνευση των **βαρυτικών κυμάτων**. Όταν ένα διμερές σύστημα μελανών οπών έρθει σε συγχώνευση, μπορεί να αποστείλει ένα πολύ δυνατό σήμα βαρυτικών κυμάτων που θα είναι πολύ εύκολα ανιχνεύσιμο από τους ανιχνευτές. Έτσι οι αστροφυσικοί αναζητούν την εύρεση τέτοιων συστημάτων μελανών οπών. Στην πραγματικότητα, δεν γνωρίζουμε πραγματικά πως είναι το εσωτερικό μιας μαύρης τρύπας. Παρόλο που περιγράφουμε τα χαρακτηριστικά της δομής μιας μαύρης τρύπας, εξακολουθεί να παραμένει μία από τις προκλήσεις της σύγχρονης σχετικιστικής αστροφυσικής.



8.Λύσεις των εξισώσεων του Einstein

Οι εξισώσεις πεδίου του Einstein έχουν αποτελέσει σημαντικό πεδίο έρευνας για τους θεωρητικούς φυσικούς και όχι μόνο. Θέτοντας τις κατάλληλες παραμέτρους σχετικά με την γεωμετρία του χωρόχρονου και την ποσότητα μάζας – ενέργειας, οι θεωρητικοί βρίσκουν διάφορες λύσεις των εξισώσεων που αντιστοιχούν σε σημεία του χώρου που ικανοποιούν τις αρχικές παραμέτρους. Κάποιες από αυτές τις λύσεις έχουν μεγαλύτερη σπουδαιότητα από τις άλλες λόγω της πληθώρας των περιγραφών τους. Οι λύσεις αυτές, μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Οι στατικές ή τοπικλες λύσεις, δηλαδή, οι λύσεις στις οποίες ο παράγοντας χρόνος δεν παίζει κανένα ρόλο (είναι ανεξάρτητες του χρόνου) και αναφέρονται κατά κύριο λόγο στην περιγραφή του χώρου γύρω από ασυνήθιστες βαρυτικές πηγές (πχ μαύρες τρύπες), και

- Μη στατικές ή δυναμικές, δηλαδή, λύσεις οι οποίες εξαρτώνται και από τον χρόνο και εξετάζουν το σύμπαν ως ένα ενιαίο στοιχείο. Κυρίως, αναφέρονται σαν κοσμολογικά μοντέλα και αφορούν την δημιουργία, την εξέλιξη και την κατάληξη του σύμπαντος.

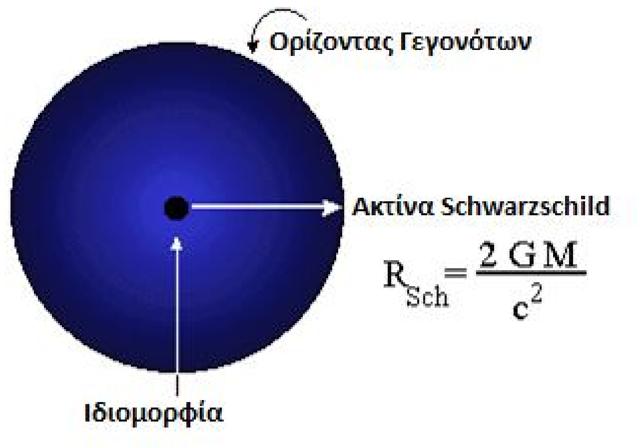
Ας δούμε κάποιες από τις σπουδαιότερες, στατικές και μη στατικές, λύσεις των εξισώσεων πεδίου του Einstein, χωρίς να παρουσιάζονται τα μαθηματικά στοιχεία τους, παρά μόνο μια ποιοτική περιγραφή τους. Ενδεικτικά, στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η μαθηματική λύση, βήμα προς βήμα, σε δύο από αυτές τις λύσεις, μίας στατικής λύσης (η λύση Schwarzschild) και μιας μη στατικής (*η λύση Friedmann - Lemaître - Robertson – Walker).*

Στατικές Λύσεις:

Η λύση Schwarzschild

Η λύση αυτή, περιγράφει το βαρυτικό πεδίο έξω από μια σφαιρική και μη περιστρεφόμενη μάζα, όπως ένα (μη περιστρεφόμενο) αστέρι, πλανήτης ή μαύρη τρύπα. Είναι επίσης μια καλή προσέγγιση για το βαρυτικό πεδίο ενός αργά περιστρεφόμενου σώματος, όπως η Γη ή ο ήλιος μας. Η λύση Schwarzschild είναι η πιο γενική σφαιρικά συμμετρική λύση κενού ($T_{\mu\nu}=0$), των εξισώσεων πεδίου του

Einstein. Η κοσμολογική σταθερά σε αυτή την λύση υποτίθεται πως παίρνει μηδενική τιμή. Μια μαύρη τρύπα τύπου Schwarzschild είναι μια στατική μαύρη τρύπα που δεν έχει φορτίο ή στροφορμή.

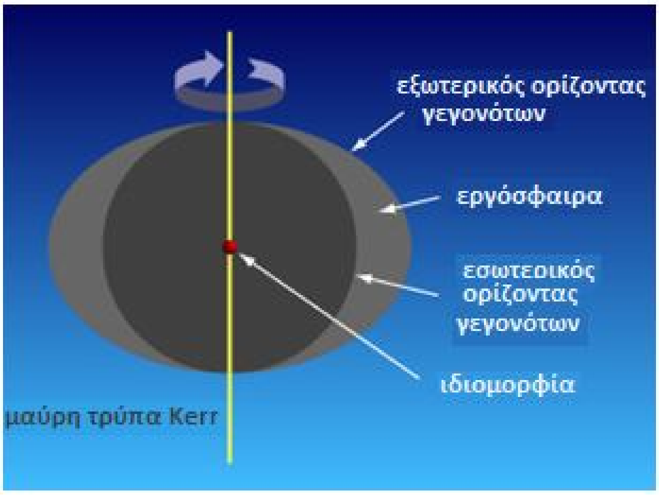


Η Schwarzschild μαύρη τρύπα χαρακτηρίζεται από μια περιβάλλουσα σφαιρική επιφάνεια, ο λεγόμενος ορίζοντας γεγονότων, που συχνά αποκαλείται και ως ακτίνα Schwarzschild. Κάθε μη-περιστρεφόμενη και μη φορτισμένη μάζα που είναι μικρότερη από την ακτίνα Schwarzschild, σχηματίζει μια μαύρη τρύπα, λόγω της βαρυτικής κατάρρευσης που υφίσταται η μάζα που είναι συγκεντρωμένη σε τόσο μικρό χώρο. Η λύση αυτή των εξισώσεων πεδίου του Einstein ισχύει για κάθε μάζα M. Έτσι, θα μπορούσε να υπάρξει μια μαύρη τρύπα Schwarzschild οποιασδήποτε μάζας αν οι συνθήκες είναι αρκετά ευνοϊκές για να καταστεί δυνατή η σύστασή της. Τέτοιου είδους πειράματα θα πραγματοποιηθούν την ερχόμενη δεκαετία στο CERN.

Η λύση Schwarzschild ονομάστηκε προς τιμήν του Karl Schwarzschild, που βρήκε τη λύση το 1915 μόλις ένα μήνα μετά τη δημοσίευση της θεωρίας της γενικής σχετικότητας! Ήταν η πρώτη ακριβής λύση των εξισώσεων πεδίου του Einstein. Ο Schwarzschild είχε λίγο χρόνο για να σκεφτεί τη λύση του καθώς πέθανε λίγο μετά τη δημοσίευση της εργασίας του, ως αποτέλεσμα μιας ασθένειας που προσελήφθη ενώ υπηρετούσε στο γερμανικό στρατό κατά τη διάρκεια του Α Παγκοσμίου Πολέμου.

Η λύση Kerr

Στη γενική σχετικότητα, η λύση του Κερρ ή η μετρική του Κερρ, περιγράφει τη γεωμετρία του χωροχρόνου γύρω από ένα περιστρεφόμενο τεράστιο σώμα. Σύμφωνα με αυτή τη μετρική, σε τέτοια περιστρεφόμενα σώματα θα πρέπει να παρουσιάζεται το φαινόμενο Frame Dragging (εξετάζεται παρακάτω), μια ασυνήθιστη πρόβλεψη της γενικής σχετικότητας. Το φαινόμενο αυτό, προβλέπει ότι τα αντικείμενα που έρχονται κοντά σε μια περιστρεφόμενη μάζα θα πρέπει να παρασύρονται να συμμετάσχουν στην περιστροφή αυτή, όχι λόγω κάποιας εφαρμοζόμενης δύναμης ή ροπής που μπορεί να δέχονται, αλλά λόγω μιας

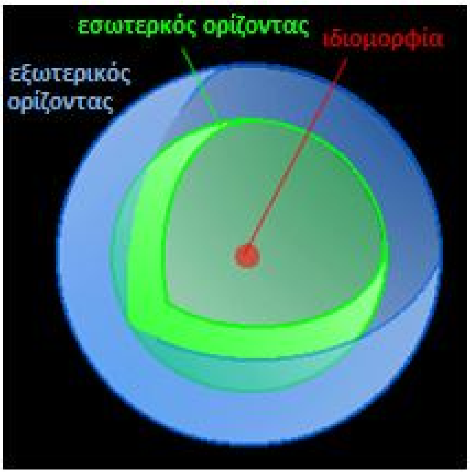


ιδιαίτερης καμπύλωσης του χωροχρόνου που συνδέεται με τα περιστρεφόμενα σώματα. Σε αρκετά κοντινές αποστάσεις, όλα τα αντικείμενα, ακόμη και το ίδιο το φώς, πρέπει να περιστρέφεται με το σώμα. Η περιοχή αυτή όπου το φαινόμενο αυτό έχει δράση ονομάζεται εργόσφαιρα. Η εργόσφαιρα περικλείεται από την εξωτερική επιφάνεια που έχει σχήμα ελλειπτικό.

Η μετρική Kerr χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει περιστρεφόμενες μαύρες τρύπες και είναι μια ακριβής λύση των εξισώσεων πεδίου του Einstein της γενικής σχετικότητας. Η λύση αυτή αποτελεί μια γενίκευση της μετρικής Schwarzschild που περιγράφει τη γεωμετρία του χωροχρόνου γύρω από ένα αφόρτιστο, τέλεια σφαιρικό και μη περιστρεφόμενο σώμα. Η ακριβής λύση για ένα αφόρτιστο, *περιστρεφόμενο* σώμα, ανακαλύφθηκε από τον Roy Kerr το 1963 και προβλέπει μια σειρά από φαινόμενα που θα μπορούσε να αποκαλέσει κανείς και σενάρια επιστημονικής φαντασίας. Τέτοια πρωτοποριακά φαινόμενα μπορεί να είναι από την εξαγωγή ενέργειας μέσα από την περιστρεφόμενη μαύρη τρύπα, μέχρι, ένα είδος ταξιδιού στον χρόνο.

Η λύση Reissner-Nordström

Αυτή η λύση περιγράφει μια μαύρη τρύπα η οποία είναι ηλεκτρικά φορτισμένη αλλά δεν περιστρέφεται. Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι ότι γύρω της



σχηματίζονται δύο ορίζοντες γεγονότων, ο εξωτερικός ορίζοντας γεγονότων και ο εσωτερικός που λέγεται και αλλιώς ορίζοντας Cauchy. Για τον σχηματισμό αυτό των δύο οριζόντων, απαιτείται το φορτίο της μαύρης τρύπας να είναι μικρότερο από την μάζα της (σε γεωμετρικές μονάδες όπου G=c=1). Ανάμεσα στους δύο ορίζοντες ο χωρόχρονος είναι κάτι σαν καταρράκτης που πέφτει με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή του φωτός. Αν το φορτίο της μαύρης τρύπας είναι πού μεγάλο τέτοιο ώστε να ξεπερνάει την μάζα της, τότε οι δύο ορίζοντες γεγονότων εξαφανίζονται με αποτέλεσμα να έχουμε μια ‘’γυμνή ιδιομορφία’’.

Το Σύμπαν στο σύνολό του φαίνεται να είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, ή έστω ελάχιστα φορτισμένο. Έτσι, στην πραγματικότητα οι μαύρες τρύπες είναι απίθανο να είναι φορτισμένες. Εάν μια μαύρη τρύπα γινόταν να φορτιστεί, θα γινόταν ουδέτερη πολύ γρήγορα αφού θα προσέλκυε φορτίο του αντίθετου πρόσημου. Η λύση Reissner-Nordström αποτελεί ένα θεωρητικό κυρίως μοντέλο, καθώς είναι απίθανο να προκύψει στην πράξη.

Οι μαύρες τρύπες στην πραγματικότητα σχεδόν σίγουρα περιστρέφονται και δεν έχουν κάποιο φορτίο που να υπερισχύει σε βαθμό τέτοιο ώστε να θεωρηθούν φορτισμένες. Καταλαβαίνουμε λοιπόν, ότι οι μαύρες τρύπες Kerr είναι οι πιο ενδιαφέρουσες από πρακτική άποψη. Υπάρχουν όμως και άλλες λύσεις, οι οποίες είναι κατά κύριο λόγο θεωρητικές και παρουσιάζουν πρωτίστως μαθηματικό ενδιαφέρον, όπως είναι η λύση Kerr–Newman η οποία περιγράφει μια μαύρη τρύπα που είναι φορτισμένη και περιστρεφόμενη, δηλαδή έχει στροφορμή. Ο πίνακας παρακάτω μας δείχνει συγκεντρωμένες τις λύσεις που αφορούν τις μαύρες τρύπες ανάλογα με τον αν περιστρέφονται και με το αν έχουν φορτίο.

	Μη Περιστρεφόμενες	Περιστρεφόμενες
Αφόρτιστες ($Q = 0$)	Schwarzschild	Kerr
Φορτισμένες ($Q \neq 0$)	Reissner–Nordström	Kerr–Newman

Μη Στατικές:

Η λύση Friedmann - Lemaître - Robertson - Walker και η σκοτεινή ύλη

Η λύση αυτή έχει διαφορετική ερμηνεία από τις προηγούμενες, που αντιστοιχούσαν σε σημεία του χώρου όπου υπήρχαν βαρυτικές ανωμαλίες. Είναι μια ακριβής λύση των εξισώσεων πεδίου του Einstein που περιγράφει ένα μοντέλο του σύμπαντος μας. Αναφέρεται σε ένα ομογενές και ισοτροπικό σύμπαν που διαστέλλεται ή συστέλλεται. Με τον όρο ομογενές, εννοούμε ότι οι ιδιότητες της ύλης, της γεωμετρίας και του χωρόχρονου είναι οι ίδιες σε όλο το σύμπαν, δηλαδή ότι το μέρος του σύμπαντος που μπορούμε και παρατηρούμε από την Γη, αποτελεί ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα. Ισοτροπία, σημαίνει ότι τα ίδια παρατηρητικά στοιχεία είναι διαθέσιμα με την εξέταση οποιασδήποτε κατεύθυνσης μέσα στο σύμπαν, δηλαδή ότι οι ίδιοι φυσικοί νόμοι ισχύουν σε όλη την έκταση του σύμπαντος.

Το μοντέλο αυτό του σύμπαντος ονομάζεται ''το καθιερωμένο μοντέλο'' ή και ΛCDM μοντέλο (Lamda - Cold Dark Matter). Το μοντέλο αυτό προσπαθεί να εξηγήσει τις υπερδομές που δημιουργούν τα σμήνη των γαλαξιών, την ύπαρξη και τη δομή της κοσμικής ακτινοβολίας (ένα είδος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που κατακλύζει το σύμπαν και προέρχεται από την αρχή της δημιουργίας του σύμπαντος), την κατανομή διαφόρων στοιχείων, όπως το υδρογόνο και το ήλιο καθώς και την επιτάχυνση του διαστελλόμενου σύμπαντος που έχει παρατηρηθεί από το φως μακρινών γαλαξιών αλλά και εκρήξεων σούπερ-νόβα.

Ας εξετάσουμε τις παραμέτρους που περιλαμβάνει το μοντέλο αυτό.

Κατ' αρχήν η κοσμολογική σταθερά Λ που σήμερα συνδέεται με την ενέργεια του κενού ή της σκοτεινής ενέργειας που είναι συνυφασμένες με τον κενό χώρο και εξηγεί την επιταχυνόμενη επέκταση του χώρου έναντι της ελκτικής επίδρασης της βαρύτητας. Η κοσμολογική σταθερά συμβολίζεται και ως Ω_Λ, το οποίο ερμηνεύεται ως το κλάσμα της συνολικής πυκνότητας της μάζας και ενέργειας που αποδίδεται σε σκοτεινή ενέργεια. Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει, ότι περίπου το 70% της ενεργειακής πυκνότητας του σύμπαντος, εκτιμάται ότι είναι σκοτεινή ενέργεια.

Η ψυχρή σκοτεινή ύλη (Cold Dark Matter) είναι μια μορφή της ύλης που είναι απαραίτητη για να εξηγήσει βαρυτικά φαινόμενα που παρατηρούνται σε δομές πολύ μεγάλης κλίμακας και που δεν μπορούν να εξηγηθούν από την ποσότητα της παρατηρούμενης ύλης, για παράδειγμα, ανωμαλίες στην περιστροφή των γαλαξιών, το φαινόμενο του βαρυτικού φακού, κάποια υπέρμετρη ομαδοποίηση των γαλαξιών κ.α. Η σκοτεινή ύλη περιγράφεται ως ψυχρή (δεν θερμαίνεται από την ακτινοβολία των φωτονίων), ενδεχομένως να είναι μη βαρυονική (δεν αποτελείται από βαρυόνια όπως τα πρωτόνια και τα νετρόνια) και δίχως συγκρούσεις (δηλαδή, τα σωματίδια της σκοτεινής ύλης αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με άλλα σωματίδια μόνο μέσω της βαρύτητας). Εκτιμάται επί του παρόντος, η σκοτεινή ύλη αποτελεί περίπου το 25% της πυκνότητας μάζας - ενέργειας του σύμπαντος.

Είπαμε πιο πάνω, ότι περίπου το 70% του σύμπαντος εκτιμάται ότι είναι σκοτεινή ενέργεια και το 25% σκοτεινή ύλη. Τί είναι το υπόλοιπο 5% που περισσεύει; Το υπόλοιπο 5% αποτελείται από όλη την ύλη και την ενέργεια που παρατηρούμε, όπως τα υποατομικά σωματίδια, τα χημικά στοιχεία και η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, δηλαδή όλα αυτά που αποτελούν τα ορατά σε μας ουράνια σώματα, όπως οι πλανήτες, τα αστέρια και οι γαλαξίες.

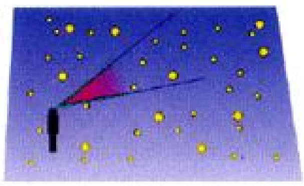
Το μοντέλο αυτό του σύμπαντος χρησιμοποιεί τη Friedmann – Lemaître – Robertson - Walker (FLRW) μετρική για να περιγράψει το παρατηρήσιμο σύμπαν από την Μεγάλη Έκρηξη και μετά.

Η λύση Einstein - de Sitter

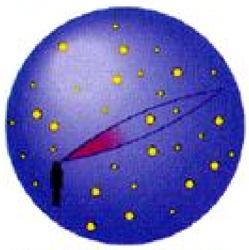
Η λύση αυτή περιγράφει ένα άλλου είδους μοντέλο του σύμπαντος. Ο Einstein και ο de Sitter ανέπτυξαν και οι δύο κάποια κοσμολογικά μοντέλα το 1917. Ο Einstein προέβλεπε ένα σύμπαν στατικό, εισάγοντας την κοσμολογική σταθερά που απέτρεπε το ενδεχόμενο το συμπάν να συσταλεί και να καταρρεύσει κάτω από την ίδια του την βαρύτητα. Ο Willem de Sitter ανέπτυξε ένα μοντέλο που είχε καθαρά ακαδημαϊκό χαρακτήρα αρχικά, καθώς στο μοντέλο αυτό στο συμπάν δεν υπήρχε καθόλου η παρουσία της μάζας. Ωστόσο, σε ένα σύμπαν που διαστέλλεται συνεχώς, όπως πιστεύεται σήμερα, η πυκνότητα της ύλης θα γίνει τελικά αμελητέα και το σύμπαν θα προσεγγίσει το μοντέλο του de Sitter.

Το 1922 ο Freidman και το 1927 ο Lemaître, ανακάλυψαν κάποιες λύσεις για τις εξισώσεις πεδίου του Einstein που περιείχαν ρεαλιστικές ποσότητες ύλης αλλά με μηδενική τιμή της κοσμολογικής σταθεράς. Η ανακάλυψή τους αυτή, ήρθε σε συμφωνία με την διαστελλόμενη μορφή του σύμπαντος που παρατηρήθηκε απ' τον Hubble το 1924 και μάλιστα χώρισαν σε τρεις υποπεριπτώσεις την πορεία του σύμπαντος ανάλογα με την ποσότητα ύλης που περιέχει.

i. Αν υπάρχει αρκετή ύλη στο διαστελλόμενο σύμπαν, η διαστολή αυτή θα σταματήσει κάποια στιγμή και το σύμπαν θα αρχίσει να συρρικνώνεται - θετική καμπυλότητα του χωροχρόνου (k=1).
ii. Εάν υπάρχει πολύ μικρή μάζα στο σύμπαν, αυτό θα διαστελλόταν για πάντα - αρνητική καμπυλότητα του χωροχρόνου (k=-1).
iii. Εάν το ποσό της ύλης, είναι τέτοιο ώστε ο ρυθμός διαστολής του σύμπαντος προσεγγίσει το μηδέν, τότε το σύμπαν θα παραμείνει σταθερό και δεν θα συρρικνωθεί - μηδενική καμπυλότητα του χωροχρόνου (k=0).

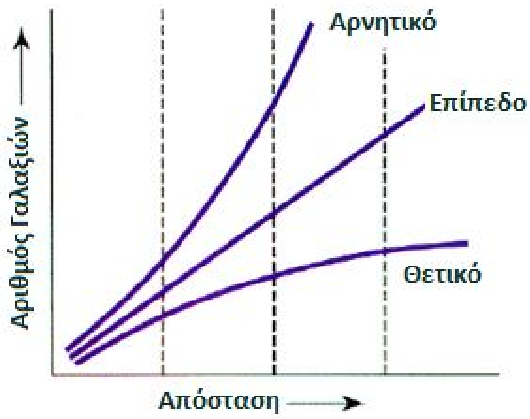


Επίπεδο Σύμπαν



Θετικά καμπυλωμένο Σύμπαν

Αρνητικά Καμπυλωμένο Σύμπαν

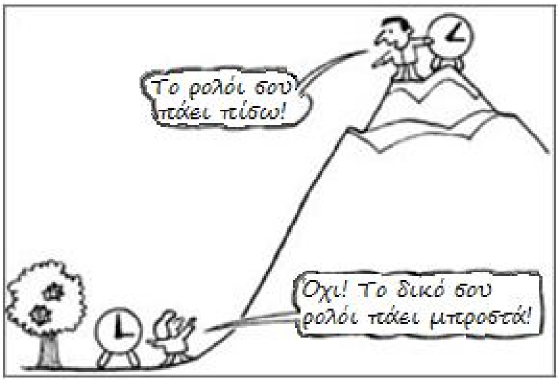


Ο Einstein και ο de Sitter πρότειναν μαζί το μοντέλο Einstein - de Sitter, το 1932, το οποίο βρίσκει ανταπόκριση στην τρίτη υποπερίπτωση. Θεωρούν λοιπόν ότι το κοσμολογικό μοντέλο που περιγράφει το σύμπαν είναι ένα ισοτροπικό και ομογενές σύμπαν με μηδενική καμπυλότητα του χωρόχρονου, μηδενική κοσμολογική σταθερά και μηδενική πίεση.

9.Συνέπειες της Γενικής θεωρίας της Σχετικότητας

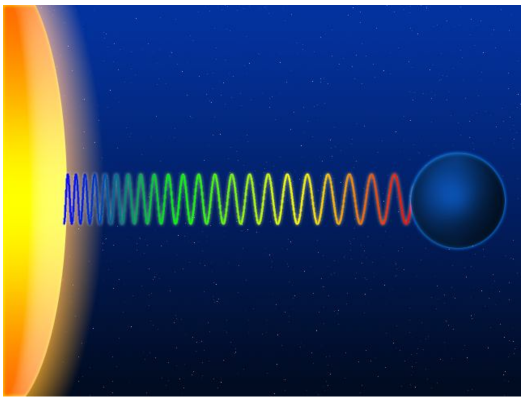
Σε αυτήν την ενότητα, εξετάζονται κάποιες από τις κυριότερες συνέπειες της Γενικής θεωρίας της Σχετικότητας (ΓΘΣ). Κάποιες από αυτές είναι άμεσο αποτέλεσμα των αξιωμάτων της θεωρίας και κάποιες άλλες έχουν διαπιστωθεί και κατανοηθεί πολλά χρόνια μετά από την δημοσίευση της ΓΘΣ.

Βαρυτική διαστολή του χρόνου και μεταβολή της συχνότητας του φωτός



Θεωρώντας ότι η αρχή της ισοδυναμίας ισχύει, έχει παρατηρηθεί και αποδειχθεί, ότι κοντά σε ισχυρά βαρυτικά πεδία για παράδειγμα κοντά σε ένα μεγάλο ουράνιο σώμα όπως είναι ο ήλιος μας, ο χρόνος κυλάει πιο αργά όσο πιο κοντά βρισκόμαστε στο σώμα αυτό. Δηλαδή ο ρυθμός μεταβολής του χρόνου είναι ανάλογος της απόστασης που έχει ο παρατηρητής από ένα πεδίο βαρύτητας.

Αποτέλεσμα αυτής της διαπίστωσης είναι η μεταβολή της συχνότητας του φωτός κοντά σε ισχυρά βαρυτικά πεδία. Αν εκπέμψουμε μια ακτίνα λευκού φωτός προς ένα ισχυρό βαρυτικο πεδίο, η ακτίνα που θα φτάσει θα είναι χρώματος μπλέ καθώς

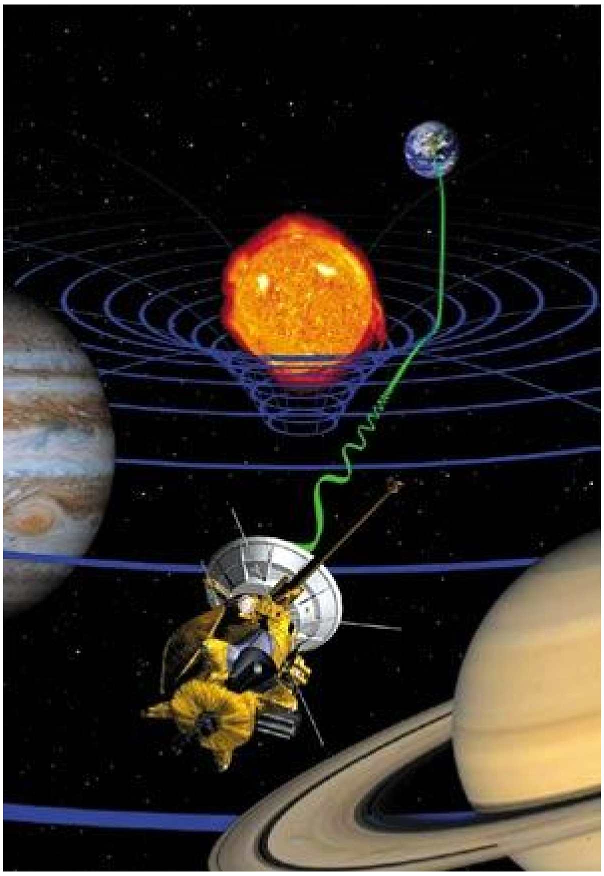


η συχνότητα της ακτίνας θα έχει αυξηθεί. Στην αντίθετη περίπτωση που η ακτίνα αυτή θα εκπεμφθεί απ’ το βαρυτικό πεδίο προς το κενό, όσο η ακτίνα απομακρύνεται απ’ το πεδίο θα τείνει να έχει κόκκινο χρώμα. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό και ως βαρυτική ερυθρή μετατόπιση και έχει μετρηθεί εργαστηριακά καθώς και από αστρονομικές παρατηρήσεις.

Η βαρυτική διαστολή του χρόνου μπορεί να παρατηρηθεί ακόμα και στο ασθενές βαρυτικό πεδίο της Γης, με την χρήση ατομικών ρολογιών (υψηλής ακρίβειας μετρητές χρόνου). Επίσης άλλη μια επιβεβαίωση είναι το γνωστό και ως GPS (σύστημα προσανατολισμού μέσω δορυφόρων), το οποίο χρειάζεται συνεχής διορθώσεις για να διατηρεί την ακρίβειά του.

Εκτροπή Φωτός και Βαρυτική Χρονική Καθυστέρηση (Shapiro effect)

Το φαινόμενο της χρονικής καθυστέρησης παρατηρήθηκε αρχικά το 1964, από τον Irwin Shapiro. Ο Shapiro παρατήρησε ότι ο χρόνος που κάνει το φως για να έρθει στην γη απ’ τον ήλιο, είναι μεγαλύτερος όταν η Αφροδίτη και ο Ερμής είναι ευθυγραμμισμένοι με την Γη. Μάλιστα υπολόγισε με τα μέσα της εποχής ότι η χρονική αυτή καθυστέρηση ήταν περίπου 200μs.



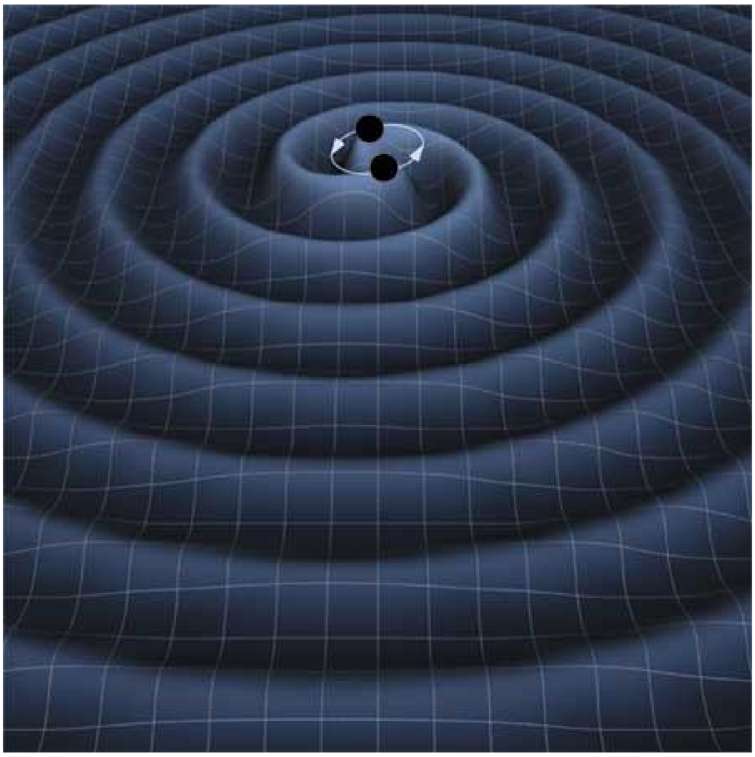
Οι πρώτες δοκιμές που διεξαχθήκαν το 1966 και το 1967 χρησιμοποιώντας το ραντάρ του MIT, ήταν επιτυχείς, ταιριάζοντας την προβλεπόμενη τιμή της χρονικής καθυστέρησης. Τέτοια πειράματα έχουν επαναληφθεί πολλές φορές από τότε, με όλο και μεγαλύτερη ακρίβεια.

Καταλαβαίνουμε λοιπόν, ότι η πορεία του φωτός εκτρέπεται όταν περνάει κοντά από ένα βαρυτικό πεδίο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση άφιξης στο προορισμό του, λόγω της καμπυλόγραμμης τροχιάς που ακολουθεί.

Το Shapiro effect λαμβάνεται υπόψη σε μεγάλο βαθμό, στην προσπάθεια να προσδιοριστεί με ακρίβεια η απόσταση διαστημοπλοίων και εξερευνητικών δορυφόρων, όπως το Voyager και Pioneer.

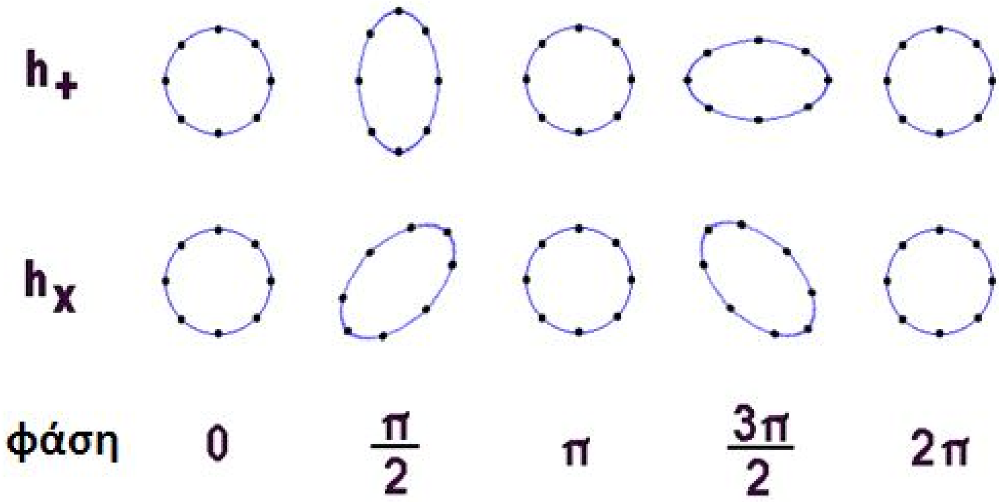
Βαρυτικά Κύματα

Η θεωρία της Γενικής Σχετικότητας, περιγράφει την βαρυτική δύναμη ως συνέπεια της καμπυλότητας του χωρόχρονου. Αυτή η καμπύλωση προκαλείται απ' την παρουσία μαζών. Όσο μεγαλύτερη μάζα έχει ένα αντικείμενο, τόσο μεγαλύτερη καμπυλότητα προκαλεί και τόσο πιο έντονη είναι η βαρύτητα. Για παράδειγμα ένα σύστημα με δύο πάλσαρς (αστέρες νετρονίων που εκπέμπουν ανιχνεύσιμη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία λόγω της ταχύτατης περιστροφής τους γύρω απ' τον εαυτό τους) που περιστρέφονται αναμεταξύ τους, θα προκαλέσει κυματισμούς στο χωροχρόνο, όπως οι κυματισμοί στην επιφάνεια μιας λίμνης. Οι κυματισμοί αυτοί αναφέρονται σαν βαρυτικά κύματα και ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός. Πηγές τέτοιων βαρυτικών κυμάτων μπορούν να αποτελέσουν διμερή συστήματα αστέρων που αποτελούνται από αστέρες νετρονίων, λευκούς νάνους και μαύρες τρύπες.



Δεδομένου ότι αυτά τα κύματα εξελίσσονται μέσα στο σύμπαν, ο χωροχρόνος θα στρεβλώσει με έναν ιδιαίτερο τρόπο. Η απόσταση μεταξύ των αντικειμένων, θα αυξάνεται θα μειώνεται ρυθμικά καθώς το κύμα περνά. Αυτή η επίδραση είναι πολύ μικρή σε βαθμό που δεν έχει αποδειχθεί πειραματικά ακόμα. Να σημειώσουμε ότι οι ταλαντεύσεις αυτές που αλλάζουν την απόσταση των αντικειμένων, είναι της τάξεως του 10^{-21}, αυτό είναι περίπου το ένα δισεκατομμυριοστό του πλάτους ενός ατόμου για ένα μέτρο αντικειμένου. Οπότε καταλαβαίνουμε γιατί δεν έχει ανιχνευθεί ποτέ κάτι τέτοιο. Ωστόσο προβλέπεται ότι μέσα στην επόμενη δεκαετία, θα έχουμε καταφέρει να φτιάξουμε ανιχνευτές τέτοιας ευαισθησίας που θα καταστίσουν δυνατή μια τέτοια μέτρηση. Οι σημερινοί ανιχνευτές είναι κατά κύριο λόγο συμβολόμετρα με λέιζερ, είτε επίγεια είτε στο διάστημα.

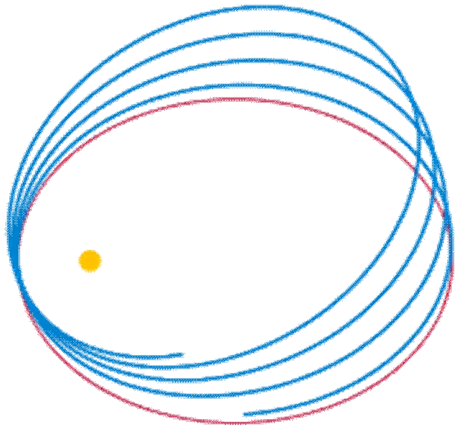
Το πλάτος των βαρυτικών κυμάτων εξαρτάται από τη μάζα αλλά και την κίνηση του αντικειμένου που το προκαλεί, μια ταχύτερη τροχιά για παράδειγμα παράγει μεγαλύτερα (και πιο ανιχνεύσιμα) βαρυτικά κύματα. Επιπλέον, το πλάτος αυτών των κυμάτων εξασθενεί καθώς διαδίδονται μέσα στο χώρο αλλά ποτέ χωρίς να επιβραδύνουν ή να σταματούν. Επίσης, υπάρχουν δύο ειδών πολώσεις για τα βαρυτικά κύματα, η πόλωση "συν (+)" και η πόλωση "σταυρός (Χ) " και ονομάζονται έτσι επειδή τα κύματα ταλαντεύονται προς τις δύο κατευθύνσεις ταυτόχρονα, πάνω - κάτω και αριστερά - δεξιά για τη συν (+) πόλωση και στις 45 μοιρών διαγώνιους για τη σταυρό (Χ) πόλωση.



Η αφορμή που μας έδωσε ένα έμμεσο συμπέρασμα για την ύπαρξη των βαρυτικών κυμάτων, ήταν το δυαδικό σύστημα πάλσαρ PSR1913+16 το οποίο ακλουθεί μια σπειροειδή τροχιά, οι τροχιές δηλαδή των δύο πάλσαρ συγκλίνουν με την πάροδο του χρόνου και αυτό σημαίνει ότι υπάρχει απώλεια ενέργειας στο σύστημα. Η ενέργεια αυτή μεταφέρεται μακριά απ' το σύστημα μέσω των βαρυτικών κυμάτων με αποτέλεσμα τα δύο πάλσαρ να συγκρουστουν κάποια στιγμή στο μέλλον αφού οι τροχιές τους θα συμπέσουν. Η παρατήρηση αυτή αποτελεί το πρώτο έμμεσο στοιχείο για την ύπαρξη των βαρυτικών κυμάτων και έγινε απ' τους Russell A. Hulse και Joseph H. Taylor, Jr οι οποίοι βραβεύτηκαν για αυτό με το βραβείο Νόμπελ το 1993.

Τροχιακή Μετάπτωση ή Μετάπτωση των Αψίδων

Στην γενική θεωρία της σχετικότητας, η αψίδα σε μια ελλειπτική τροχιά, είναι το πλησιέστερο σημείο του σώματος που ακολουθεί την τροχιά με το κέντρο μάζας του συστήματος γύρω απ' το οποίο περιστρέφεται. Στην πραγματικότητα όμως, οι τροχιές που ακολουθούν τα ουράνια σώματα, δεν είναι ελλειπτικές καθώς μετατοπίζονται ελαφρώς κάθε φορά προς μια κατεύθυνση. Σε αντίθεση με την

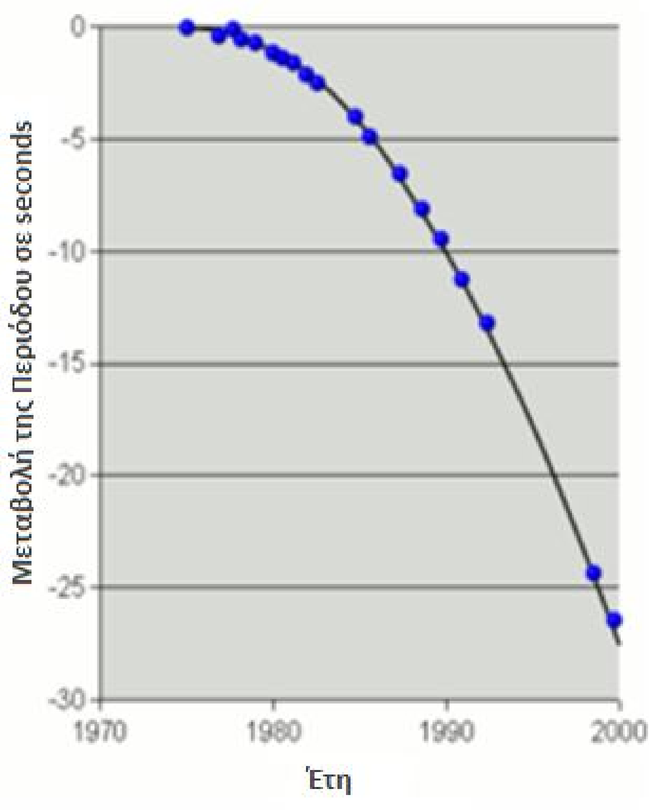


Νευτώνια θεωρία που περιέγραφε τις τροχιές ως ελλειπτικές (υπό την μηδενική επίδραση άλλων δυνάμεων), η γενική θεωρία της σχετικότητας προβλέπει αυτή τη μετάπτωση στην τροχιά. (στο σχήμα η κόκκινη τροχιά είναι η Νευτώνια πρόβλεψη, ενώ η μπλε τροχιά η πρόβλεψη της ΓΘΣ).

Κάτι τέτοιο είχε παρατηρηθεί για πρώτη φορά το 1859 όπου ο Urbain Le Verrier ανακάλυψε ότι η τροχιά του Ερμή δεν ήταν ακριβώς αυτή που θα έπρεπε να είναι. Η μετάπτωση της τροχιάς του Ερμή ήταν ελαφρώς ταχύτερη από ό, τι προβλέπεται από την παραδοσιακή θεωρία της Νευτώνιας βαρύτητας, ακόμη και μετά τον συνυπολογισμό όλων των γύρω πλανητών. Αυτή λοιπόν η ανώμαλη μετάπτωση οδήγησε στην ανατροπή του νευτώνιου μοντέλου της βαρύτητας και την ανάπτυξη της γενικής θεωρίας της σχετικότητας.

Τροχιακή Εξασθένηση

Σύμφωνα με την γενική θεωρία της σχετικότητας, ένα κινούμενο σύστημα δύο σωμάτων θα εκπέμπει βαρυτικά κύματα, έτσι θα χάνει συνεχώς ενέργεια. Λόγω αυτής της απώλειας, η απόσταση μεταξύ των δύο αυτών σωμάτων θα μειώνεται, το ίδιο και η περίοδος των τροχιών τους. Εντός του ηλιακού μας συστήματος ή για συνήθεις διπλούς αστέρες, η επίδραση της τροχιακής εξασθένησης είναι πολύ μικρή για να μπορεί να παρατηρηθεί. Για να παρατηρηθεί κάτι τέτοιο χρειάζεται την παρουσία μιας δυνατής πηγής βαρυτικής ακτινοβολίας, δηλαδη, διμερή συστήματα από αστέρες νετρονίων, λευκών νάνων και μαύρες τρύπες, έτσι ώστε τα ουράνια αυτά σώματα να

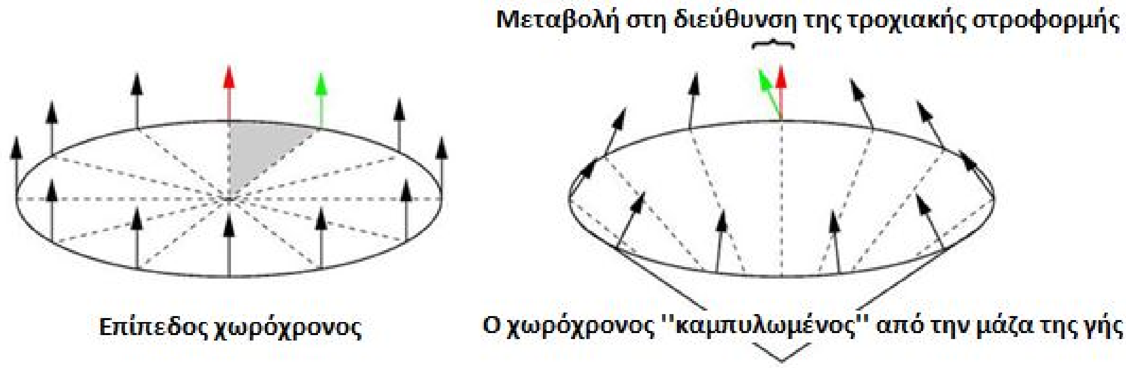


βρίσκονται σε γρήγορη κίνηση αναμεταξύ τους.

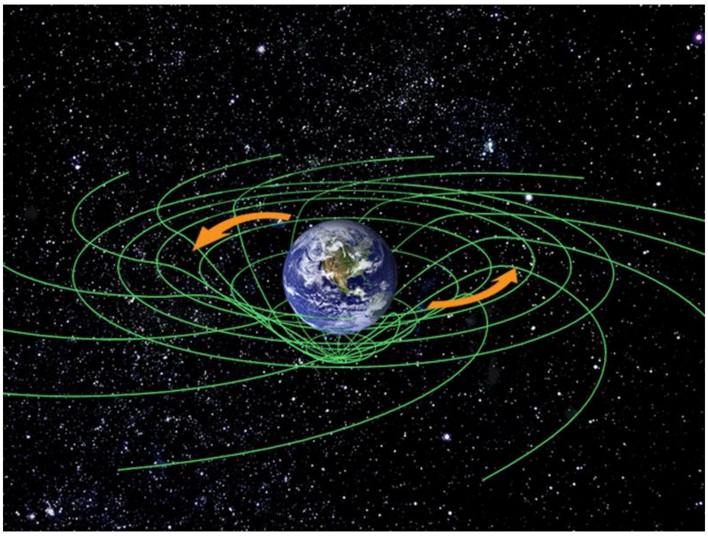
Η πρώτη φορά που παρατηρήθηκε η μείωση της τροχιακής περιόδου, ήταν το 1993 από τους Hulse και Taylor που βραβεύτηκαν με το βραβείο Νόμπελ. Αυτό ήταν και η πρώτη έμμεση απόδειξη για την ύπαρξη των βαρυτικών κυμάτων. Από τότε έχουν ανακαλυφθεί κι άλλα διπλά συστήματα πάλσαρ στα οποία ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις.

Γεωδαιτικές Μεταπτώσεις - το φαινόμενο Frame Dragging και ο δορυφόρος Gravity Probe B

Η γεωδαιτική μετάπτωση (ή φαινόμενο de Sitter) είναι ένα φαινόμενο που αντιπροσωπεύει την επίδραση της καμπυλότητας του χωροχρόνου στο ιδιοδιάνυσμα περιστροφής που αντιστοιχεί για ένα σώμα που βρίσκεται σε τροχιά. Αυτό είναι το ακριβές ανάλογο του φαινομένου του Thomas από τον ηλεκτρομαγνητισμό, όπου ένα ηλεκτρόνιο δέχεται ένα επαγόμενο μαγνητικό πεδίο (στο σύστημα ηρεμίας του) που οφείλεται στην κίνηση του πυρήνα. Έτσι και ένα σώμα σε τροχιά όπως για παράδειγμα ένας δορυφόρος γύρω απ΄ την Γη, αισθάνεται την τεράστια σε μάζα Γη να στροβιλίζεται γύρω του και έτσι δέχεται μια επαγόμενη βαρυτο-μαγνητική στροφορμή που προκαλεί απόκλιση στο διάνυσμα περιστροφής του.



Το φαινόμενο Frame dragging γνωστό και ως φαινόμενο Lense – Thirring συμβαίνει κοντά σε μια περιστρεφόμενη μάζα η οποία λόγω της περιστροφής της ‘’σπρώχνει’’ το σώμα που είναι σε τροχιά γύρω από αυτήν να περιστραφεί κατά την ίδια φορά με αυτήν. Μπορούμε να πούμε, όσον αφορά την γεωμετρία του χωρόχρονου, ότι δημιουργείται κάτι σαν ένα σπείρωμα, όπως αυτό στις βίδες, που αναγκάζει την περιστροφή προς την μία μεριά. Ας πάρουμε για παράδειγμα ένα δορυφόρο που



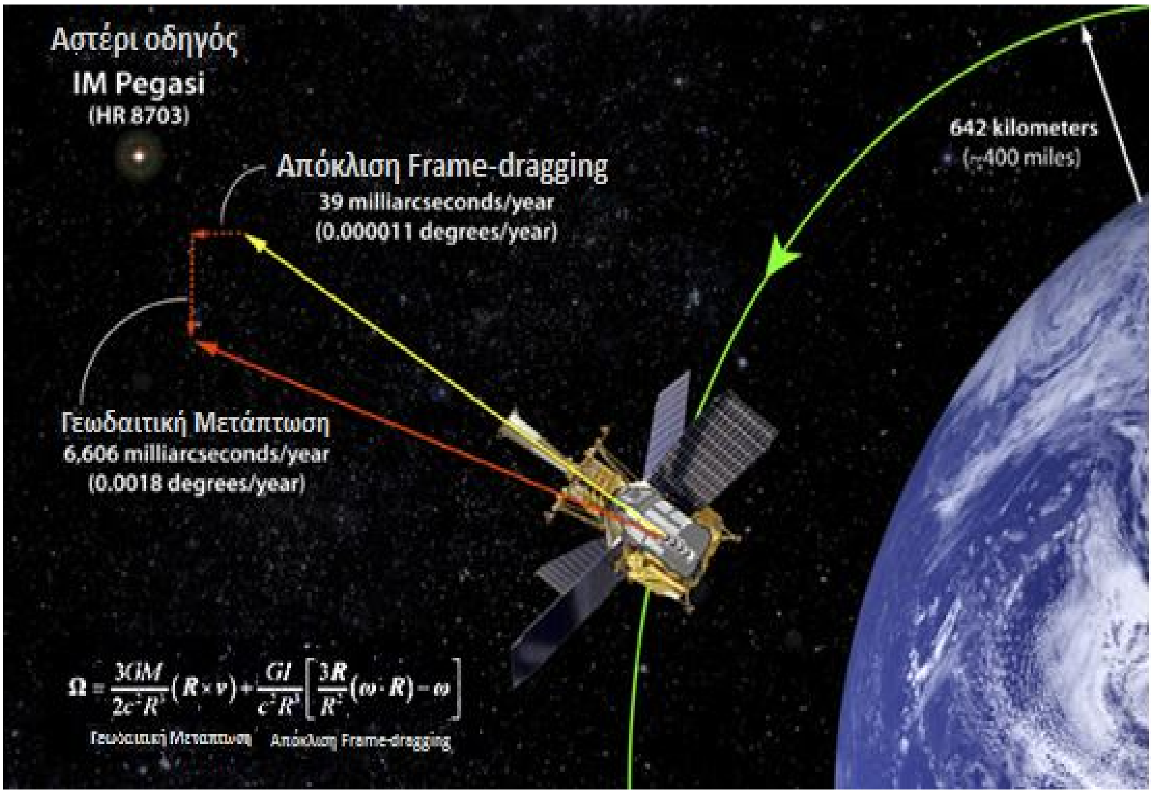
περιστρέφεται γύρω από τη Γη. Σύμφωνα με την νευτώνεια μηχανική, αν δεν υπάρχουν εξωτερικές δυνάμεις που ασκούνται προς τον δορυφόρο, αλλά μόνο η δύναμη της βαρύτητας που ασκείται από τη Γη, ο δορυφόρος θα περιστρέφεται στο ίδιο επίπεδο για πάντα (αυτό θα συμβεί είτε η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της ή μη.) Με την γενική σχετικότητα, διαπιστώνουμε ότι η περιστροφή της Γης ασκεί μια δύναμη στο δορυφόρο, έτσι ώστε το επίπεδο περιστροφής του δορυφόρου, να προηγείται σε ένα πολύ μικρό ποσοστό, προς την ίδια φορά με την περιστροφή της Γης.

Παρακάτω βλέπουμε κάποια αποτελέσματα που έχουν παρατηρηθεί και οφείλονται στο Frame Dragging:

- Κοντά σε περιστρεφόμενα σώματα παρατηρούμε ότι ο χρόνος περνάει γρηγορότερα. Αυτό σημαίνει επίσης ότι το φώς που ταξιδεύει προς την φορά του περιστρεφόμενου αντικειμένου, θα ταξιδεύει γρηγορότερα σε σχέση με το φως που ταξιδεύει προς την αντίθετη φορά, όπως θα φαίνεται από έναν μακρινό παρατηρητή.
- Ένα εξίσου αναπόφευκτο αποτέλεσμα της γενικής αρχής της σχετικότητας με βάση το Frame Dragging, είναι η αύξηση της αδρανειακής μάζας ενός σώματος όταν είναι τοποθετημένο κοντά σε άλλα. Παρόλο που δεν είναι αυστηρά ένα αποτέλεσμα του Frame Dragging, πηγάζει άμεσα απ' τις εξισώσεις του Einstein. Επίσης, είναι μια μικροσκοπική επίδραση που είναι δύσκολο να επιβεβαιωθεί πειραματικά
- Το Frame Dragging επηρεάζει επίσης την ορμή του σώματος. Αν και είναι αδιαμφισβήτητο θεωρητικά με βάση την γενική σχετικότητα, λόγω της δυσκολίας της πειραματικής του επιβεβαίωσης, λαμβάνει πολύ μικρότερο βάρος σε σχέση με τα άλλα δύο αποτελέσματα.

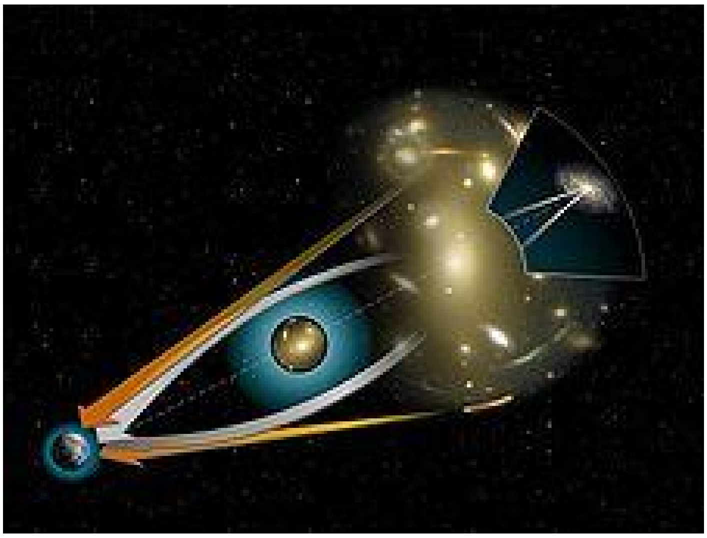
Το φαινόμενο Frame Dragging είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον, αφού μας παρουσιάζει μια νέα έκφανση της γενικής σχετικότητας. Ο τρόπος με τον οποίο ο χωροχρόνος στρεβλώνεται γύρω από ένα περιστρεφόμενο σώμα, μπορεί να παραλληλιστεί στενά με τον τρόπο με τον οποίο ένα περιστρεφόμενο ηλεκτρικά φορτισμένο σώμα παράγει μαγνητισμό. Για το λόγο αυτό συχνά αναφέρεται ως βαρυτομαγνητικό φαινόμενο (gravitomagnetic effect) καθώς και η διαπίστωση αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως ανακάλυψη μιας νέα δύναμης στη φύση, της βαρυτομαγνητικής δύναμης.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι, για την πειραματική επιβεβαίωση των δύο αυτών πολύ σημαντικών φαινομένων εστάλη ο δορυφόρος Gravity Probe B το 2004. Ο δορυφόρος αυτός ήταν εφοδιασμένος με ένα τηλεσκόπιο και τέσσερα γυροσκόπια. Το τηλεσκόπιο καθώς και τα γυροσκόπια ήταν ευθυγραμμισμένα με ένα μακρινό σημείο αναφοράς, ένα αστέρι οδηγό. Το πείραμα προέβλεπε ότι ο δορυφόρος θα έκανε πάνω από πέντε χιλιάδες περιστροφές γύρω απ' την Γη. Το μέτρο της μεταβολής του άξονα ευθυγράμμισης για κάθε γύρο, τόσο στο επίπεδο της τροχιάς (γεωδαιτική μετάπτωση) όσο και κάθετα στο επίπεδο της περιστροφής της Γης (φαινόμενο Frame Dragging), θα έδινε πειραματικές μετρήσεις για τα δύο αυτά φαινόμενα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων, τα οποία αξίζει να σημειωθεί ότι ολοκληρώθηκαν τον Μάιο του 2011, ήταν, για τη γεωδαιτική μετάπτωση μια μικροσκοπική γωνία 6.606 milliarcseconds (0,0018 μοίρες) στο επίπεδο τροχιάς του διαστημικού σκάφους και για το Frame Dragging η ορθογώνια μετάπτωση ήταν μία ασήμαντη γωνία των 39 milliarcseconds ($1.1x10^{-5}$ βαθμούς της μοίρας). Για να καταλάβουμε πόσο μικρές είναι αυτές οι γωνίες, αξίζει να πούμε ότι 0,1 milliarcseconds είναι ίση με την γωνία που σχηματίζει ένα τετραγωνικό χιλιοστό από απόσταση 6 χιλιάδων χιλιομέτρων!



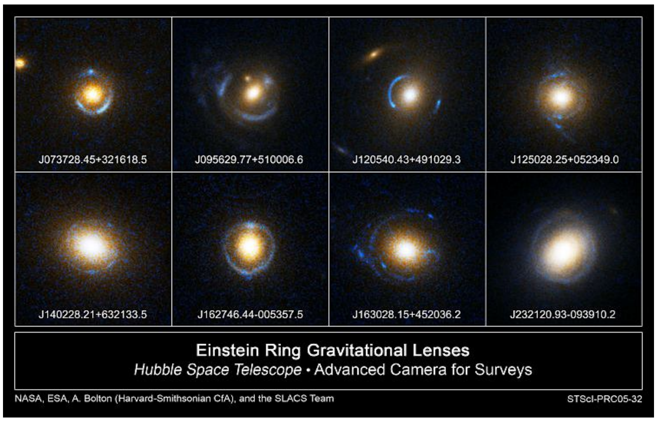
Βαρυτικός Φακός και οι Εφαρμογές του

Ένας βαρυτικός φακός σχηματίζεται όταν οι δέσμες του φωτός από μια μακρινή φωτεινή πηγή καμπυλώνονται γύρω από ένα μεγάλης μάζας αντικείμενο, που βρίσκεται στην κατάλληλη απόσταση, όπως για παράδειγμα ένα σμήνος από γαλαξίες, με αποτέλεσμα ο παρατηρητής στην Γη να βλέπει την πηγή παραμορφωμένη δηλαδή σαν μέσα από ένα κάτοπτρο. Το φαινόμενο αυτό των βαρυτικών φακών προβλέπεται απ' την γενική θεωρία της σχετικότητας και έχει εξελιχθεί ως ένα πολύτιμο εργαλείο παρατήρησης στην αστρονομία.



Υπάρχουν τριών ειδών συστήματα βαρυτικών φακών, οι ισχυροί, οι ασθενείς και οι μικροφακοί. Η διάκριση μεταξύ των συστημάτων αυτών εξαρτάται από την θέση της πηγής, του φακού και του παρατηρητή, καθώς και της μάζας και του σχήματος του φακού, ο οποίος ελέγχει την ποσότητα και την διεύθυνση του φωτός που εκτρέπεται.

Ισχυρός Βαρυτικός φακός: Σε αυτή την περίπτωση εμφανίζεται η πιο έντονη μορφή του φαινομένου, καθώς υπάρχει και η μεγαλύτερη κάμψη του φωτός. Όταν η πηγή του φωτός είναι κοντά σε έναν τεράστιο βαρυτικό φακό (που δημιουργεί μεγάλη καμπύλωση του χώρου γύρω του), τότε το φως μπορεί να πάρει πολλαπλές πορείες, γύρω από τον φακό, μέχρι να φτάσει στον παρατηρητή. Σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις, η ευθυγράμμιση της πηγής και ο φακός είναι τέτοια που το φως θα εκτρέπεται προς τον παρατηρητή σαν ένα δαχτυλίδι το λεγόμενο, «δαχτυλίδι του Αϊνστάιν». Οι ιδιότητες της γεωμετρίας των τόξων που δημιουργούνται, μας βοηθάνε να μελετήσουμε μακρινούς γαλαξίες και συμπλέγματα γαλαξιών.



Ασθενής Βαρυτικός φακός: Σε πολλές περιπτώσεις, ο φακός δεν είναι αρκετά ισχυρός ώστε να διαμορφώσει πολλαπλές εικόνες ή τόξα. Η πηγή παρόλα αυτά εξακολουθεί να είναι παραμορφωμένη, καθώς φαίνεται μεγεθυμένη και διαπλατισμένη. Αν κάθε φορά γνωρίζαμε τις πραγματικές γεωμετρικές ιδιότητες της πηγής, όπως το μέγεθος και το σχήμα, θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε τις ακριβείς ιδιότητες του φακού. Ωστόσο τις περισσότερες φορές δεν γνωρίζουμε πράγματα για μια συγκεκριμένη πηγή, αλλά έχουμε πληροφορίες για τον μέσο όρο των ιδιοτήτων της. Έτσι με στατιστικές μεθόδους μπορούμε και παράγουμε πληροφορίες για γαλαξίες που βρίσκονται πολύ μακριά από την Γη.

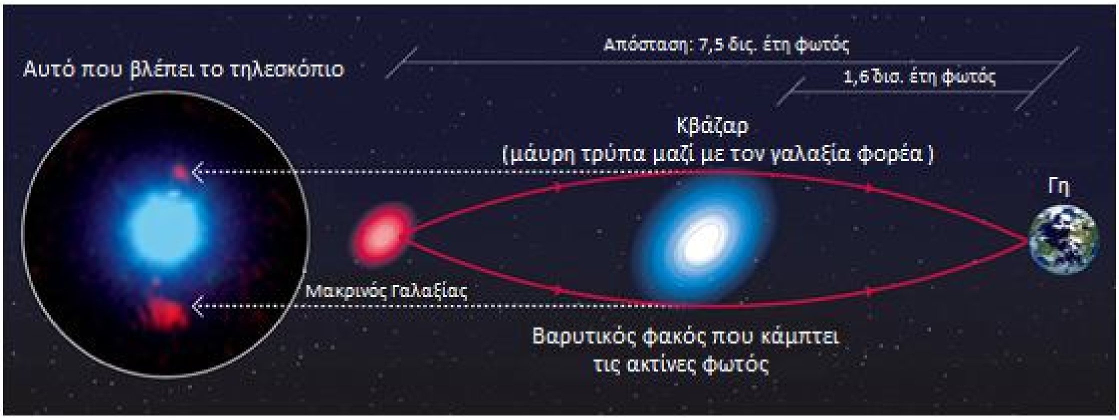
Μικροφακοί: Κάποιες φορές, το φαινόμενο των βαρυτικών φακών, δεν είναι τόσο έντονο ώστε να παρατηρήσουμε πολλαπλές εικόνες, αλλά λόγω της πρόσθετης καμπύλωσης του φωτός προς τον παρατηρητή, μια φωτεινή πηγή μπορεί να φαίνεται πιο λαμπρή. Φυσικά, η πραγματική φωτεινότητα της πηγής παραμένει αμετάβλητη, αλλά όσες περισσότερες εικόνες του αντικειμένου παρατηρούμε, τόσο μεγαλύτερο θα φαίνεται άρα και λαμπρότερο. Έτσι έχουμε την δυνατότητα να παρατηρήσουμε αντικείμενα που διαφορετικά δεν θα μπορούσαμε λόγω της μεγάλης τους απόστασης. Καμιά φορά όμως, είναι και μειονέκτημα, καθώς αν ψάχνουμε να εντοπίσουμε κάποιο σκοτεινό αντικείμενο και κοντά σε αυτό δημιουργείται το φαινόμενο του μικροφακού για κάποια άλλη πηγή, μας εμποδίζει στην παρατήρηση.

Ας δούμε όμως συγκεκριμένα, κάποιες εφαρμογές του βαρυτικού φακού.

- <u>Μελέτη μακρινών φωτεινών πηγών πίσω από τον φακό:</u>
  Οι βαρυτικοί φακοί χρησιμοποιούνται ως βαρυτικά τηλεσκόπια καθώς συγκεντρώνουν το φώς από φωτεινά αντικείμενα που βρίσκονται πίσω τους. Τα αντικείμενα αυτά θα έπρεπε να φαίνονται αμυδρά και λόγω του βαρυτικού φακού, φαίνονται φωτεινά, μεγαλύτερα και με καλύτερη ευκρίνεια, συνεπώς είναι ευκολότερο να μελετηθούν.

- <u>Μελέτη περιοχών μπροστά και πάνω στον φακό:</u>
  Οι περισσότερες αστρονομικές μετρήσεις, είναι ευαίσθητες και εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από το εκπεμπόμενο φως του αντικείμενου. Με την βοήθεια των βαρυτικών φακών, έχουμε καταφέρει να εντοπίσουμε πλανήτες στο μέγεθος της Γης που βρίσκονται σε άλλα ηλιακά συστήματα του γαλαξία μας. Έτσι μπορούν και παρέχουν πληροφορίες για συγκριτικά μικρά αστρονομικά αντικείμενα. Επίσης με τους βαρυτικούς φακούς μπορούμε και να υπολογίσουμε την κατανομή της ύλης σε μακρινές περιοχές του σύμπαντος αλλά και την παρουσία αόρατης σκοτεινής ύλης.

- <u>Υπολογισμός της σταθεράς του Hubble:</u>
  Το φαινόμενο του βαρυτικού φακού μπορεί να μας δώσει πολλά χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την ηλικία και την μορφή του σύμπαντος καθώς μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση διάφορων κοσμολογικών παραμέτρων, όπως η μέση πυκνότητα της ύλης στο σύμπαν αλλά και η σταθερά του Hubble. Η σταθερά του Hubble είναι ο ρυθμός με τον οποίον αλλάζει η απόσταση μεταξύ των γαλαξιών ή αλλιώς ο ρυθμός με τον οποίο αυξάνεται ή μειώνεται το μέγεθος του σύμπαντος. Έτσι μια ακριβέστερη μέτρηση αυτής της σταθεράς μας βοηθάει να οικοδομήσουμε το κατάλληλο μοντέλο για την μελέτη του σύμπαντος.



Να σημειώσουμε ότι οι περισσότεροι από τους βαρυτικούς φακούς στο παρελθόν έχουν ανακαλυφθεί τυχαία. Τώρα πια που έχει διαπιστωθεί η σημαντικότητά τους γίνεται επισταμένη έρευνα για την εύρεση όσο το δυνατόν περισσότερων. Αυτό άνοιξε μια εντελώς νέα οδό για την έρευνα που κυμαίνεται από την εύρεση πολύ μακρινών αντικειμένων, μέχρι την καλύτερη εκτίμηση των κοσμολογικών παραμέτρων ώστε να καταλαβαίνουμε καλύτερα το σύμπαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

Εφαρμογές στην Γενική θεωρία της Σχετικότητας (Ενδεικτικές Λύσεις)

1) ***Η λύση Schwarzschild***

2) ***Η λύση Freidman-Lemaitre-Walker-Robertson***

Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε δύο από τις λύσεις της εξίσωσης του Einstein που αναφέραμε προηγουμένως. Θα ασχοληθούμε με την επίλυση μιας λύσης στατικής, δηλαδή ανεξάρτητης του χρόνου (λύση Schwarzschild) και με μια δυναμική λύση, δηλαδή που εξαρτάται και από τον χρόνο (λύση Freidman-Lemaitre-Walker-Robertson).

1. Η λύση Schwarzschild

Σε οποιαδήποτε λύση της εξίσωσης του Einstein, έχουμε την αρχική εξίσωση και την παραμετροποιούμε κατάλληλα, σύμφωνα με τις απαραίτητες υποθέσεις ανάλογα με αυτό που θέλουμε να περιγράψουμε.

Έχουμε λοιπόν την εξίσωση του Einstein:

$$G_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu} \tag{4.1}$$

Για να δούμε με ποιο τρόπο δουλεύουμε εισάγοντας τις κατάλληλες παραμέτρους για την περιγραφή του προβλήματος μας.

Θεωρούμε ότι έχουμε κενό, όπου ο τανυστής ενέργειας είναι μηδέν *($T_{\mu\nu}=0$)*. Στην συνέχεια πρέπει να περιγράψουμε κατάλληλα τον μετρικό τανυστή $g_{\mu\nu}(t,x,y,z)$.

Ο χωρόχρονος, περιγράφεται έμμεσα από τον μετρικό τανυστή $g_{\mu\nu}(t,x,y,z)$. Στη προκειμένη περίπτωση, θέλουμε μια λύση στατική δηλαδή ανεξάρτητη του χρόνου, άρα γράφουμε $g_{\mu\nu}(x,y,z)$. Θέλουμε να περιγράψουμε το βαρυτικό πεδίο έξω από μια σφαιρική, ομοιόμορφα κατανεμημένη και μη περιστρεφόμενη μάζα. Γράφουμε λοιπόν τον μετρικό τανυστή σε σφαιρικές συντεταγμένες $g_{\mu\nu}(r,\vartheta,\varphi)$ και έχουμε τελικά ότι η μετρική χώρου μέσα από τον μετρικό τανυστή θα είναι:

$$ds^2 = -B(r)dt^2 + A(r)dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta d\phi^2 \tag{4.2}$$

με

$$g_{00} = -B(r) \tag{4.3}$$

$$g_{11} = A(r) \tag{4.4}$$

$$g_{22} = r^2 \tag{4.5}$$

$$g_{33} = r^2 \sin^2\theta \tag{4.6}$$

όπου $A(r)$ και $B(r)$ είναι μη καθορισμένοι, προς το παρών, συντελεστές της ακτίνας και του χρόνου αντίστοιχα τους οποίους αποσκοπούμε να περιγράψουμε στην συνέχεια.

Σε αυτό το σημείο, έχουμε κατασκευάσει τα θεμέλια του προβλήματος μας και δεν μας μένει παρά να το λύσουμε.

Αρκεί πια να λύσουμε την εξίσωση

$$G_{\mu\nu} = 0 \tag{4.7}$$

με

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} \tag{4.8}$$

Τα βήματα που ακολουθούμε ώστε να υπολογίσουμε τον τανυστή Ricci $R_{\mu\nu}$ αλλά και το βαθμωτό μέγεθος Ricci R ώστε να υπολογίσουμε τελικά το $G_{\mu\nu}$ είναι τα εξής:

<u>Βήμα 1</u>

Υπολογίζουμε τα σύμβολα Christoffel $\Gamma^{\lambda}_{\mu\nu}$ σύμφωνα με τον τύπο:

$$\Gamma^{\lambda}_{\mu\nu} = \frac{1}{2} g^{\lambda\rho} \left(\frac{\partial g_{\rho\mu}}{\partial x^{\nu}} + \frac{\partial g_{\rho\nu}}{\partial x^{\mu}} - \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^{\rho}} \right) \qquad (4.9)$$

<u>Βήμα 2</u>

Υπολογίζουμε τον τανυστή Reimann $R^{\lambda}_{\mu\nu\kappa}$ από τον τύπο:

$$R^{\lambda}_{\mu\nu\kappa} = \frac{\partial \Gamma^{\lambda}_{\mu\kappa}}{\partial x^{\nu}} - \frac{\partial \Gamma^{\lambda}_{\mu\nu}}{\partial x^{\kappa}} + \Gamma^{n}_{\mu\kappa}\Gamma^{\lambda}_{\nu n} - \Gamma^{n}_{\mu\nu}\Gamma^{\lambda}_{\kappa n} \qquad (4.10)$$

<u>Βήμα 3</u>

Υπολογίζουμε τον τανυστή Ricci $R_{\mu\kappa}$

$$R_{\mu\kappa} = R^{\lambda}_{\mu\lambda\kappa} \qquad (4.11)$$

<u>Βήμα 4</u>

Υπολογίζουμε τελικά το βαθμωτό μέγεθος Ricci R

$$R = R_{\mu\kappa} g^{\mu\kappa} \qquad (4.12)$$

Έχοντας υπολογίσει όλα αυτά, είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε το $G_{\mu\nu}$.

από την (4.7) και (4.8) έχουμε ότι

$$R_{\mu\nu} = \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} \qquad (4.13)$$

και

$$R = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu} = \frac{1}{2} R g^{\mu\nu} g_{\mu\nu} = \frac{1}{2} 4R = 2R \qquad (4.14)$$

αφού

$$g^{\mu\kappa} g_{\mu\nu} = \delta^{k}{}_{\nu}$$

και

$$\delta^{\kappa}{}_{\nu} = 4$$

όπου είναι ο αριθμός των διαστάσεων του προβλήματος για $\kappa = \nu$.

Άρα προκύπτει ότι

$$R_{\mu\nu} = 0 \qquad (4.15)$$

Τα μη μηδενικά στοιχεία του τανυστή Ricci που προκύπτουν είναι τα διαγώνια στοιχεία του, δηλαδή τα $R_{00}, R_{11}, R_{22}, R_{33}$. Πιο αναλυτικά προκύπτουν τέσσερις διαφορικές εξισώσεις με αγνώστους τους συντελεστές $A(r)$ και $B(r)$.

$$R_{00} = \frac{B''}{2A} - \frac{1}{4}\frac{B'}{A}\left(\frac{A'}{A} + \frac{B'}{B}\right) + \frac{1}{r}\frac{B'}{A} = 0 \qquad (4.16)$$

$$R_{11} = -\frac{B''}{2B} + \frac{1}{4}\frac{B'}{B}\left(\frac{A'}{A} + \frac{B'}{B}\right) + \frac{1}{r}\frac{A'}{A} = 0 \qquad (4.17)$$

$$R_{22} = 1 + \frac{r}{2A}\left(\frac{A'}{A} - \frac{B'}{B}\right) - \frac{1}{A} = 0 \qquad (4.18)$$

$$R_{33} = \left(1 + \frac{r}{2A}\left(\frac{A'}{A} - \frac{B'}{B}\right) - \frac{1}{A}\right)\sin^2\theta = 0 \qquad (4.19)$$

Διαιρούμε την εξίσωση (4.16) με τον όρο B και την εξίσωση (4.17) με τον όρο A και στη συνέχεια τις προσθέτουμε και προκύπτει:

$$\frac{R_{tt}}{B}+\frac{R_{rr}}{A}=\frac{1}{r}\cdot\frac{B'}{A\cdot B}+\frac{1}{r}\cdot\frac{A'}{A^2}=\frac{1}{r\cdot A}\cdot\left(\frac{A'}{A}+\frac{B'}{B}\right)=0\Leftrightarrow\frac{A'}{A}=-\frac{B'}{B}\Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \boxed{A(r)\cdot B(r)=\sigma\tau\alpha\theta\varepsilon\rho\acute{o}}$$

και θεωρώντας πως στο άπειρο ο χώρος είναι επίπεδος

$$\lim_{r\to\infty}A\left(r\right)=\lim_{r\to\infty}B\left(r\right)=1 \tag{4.20}$$

άρα και

$$A\left(r\right)=1/B\left(r\right) \tag{4.21}$$

απαλείφουμε το $A\left(r\right)$ και καταλήγουμε στη διαφορική εξίσωση 1[ου] βαθμού:

$$1-rB'-B=0 \tag{4.22}$$

με λύση

$$B\left(r\right)=1+\frac{c}{r}$$

όπου c μια σταθερά.

Τέλος, γνωρίζοντας ότι το Νευτώνειο δυναμικό φ ισούται με: $\phi=-\frac{M\cdot G}{r}$ και ότι σε μεγάλες αποστάσεις: $B(r)=g_{tt}\rightarrow 1+2\cdot\phi$, καταλήγουμε ότι: $c=-2\cdot M\cdot G$

(όπου M η μάζα του αστέρα,G σταθερά του Νεύτωνα).

Οπότε $\boxed{\mathrm{A}(r)=\left(1-\frac{2\cdot M\cdot G}{r}\right)^{-1}}$ και $\boxed{B(r)=\left(1-\frac{2\cdot M\cdot G}{r}\right)}$ (4.23)

Βλέπουμε ότι το αποτέλεσμα του αρχικού μας προβλήματος μας παρέχει ένα πολύ απλό αποτέλεσμα και όπως δήλωσε και ο ίδιος ο Schwarzschild λίγο πριν τον θάνατό του:

" Es ist angenehm immer, über strenge Lösungen einfacher Form verfügen zu. " (Είναι πάντοτε ευχάριστο να έχεις στη διάθεσή σου ακριβείς λύσεις σε απλή μορφή.) - Karl Schwarzschild, 1916.

2. Η λύση Freidman-Lemaitre-Walker-Robertson ή (FLWR)

Όπως αναφέραμε παραπάνω, κύριες υποθέσεις για την ανάπτυξη του μοντέλου αυτού, είναι ότι το σύμπαν είναι ισοτροπικό και ομογενές. Από την γενική μορφή της εξίσωσης πεδίου του Einstein, μαζί με την κοσμολογική σταθερά, έχουμε:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \qquad (4.23)$$

Η λύση προκύπτει απ' την λύση της εξίσωσης Einstein, θέτοντας τις κατάλληλες τιμές για την μετρική του χωρόχρονου $g_{\mu\nu}$ και στον τανυστή της ενέργειας $T_{\mu\nu}$.

Η μετρική του χωρόχρονου στην πιο γενική μορφή για ισότροπο χώρο (διαγώνια μετρική) γράφεται:

$$ds^2 = g_{00}(t, \vec{x})\ dt^2 + g_{ij}(t, \vec{x})\, d\Sigma^2 \qquad (4.24)$$

όπου ds^2 η μετρική του χωρόχρονου και $d\Sigma^2$ ο χώρος στον οποίο εξελίσσονται τα γεγονότα (χωρικό κομμάτι).

Στην συνέχεια λόγω της ισοτροπικότητας και της ομοιογένειας του σύμπαντος, θέτουμε τους συντελεστές της μετρικής:

$$g_{00} = -1 \qquad (4.25)$$

$$g_{11} = \frac{a^2(t)}{1-kr^2} \tag{4.26}$$

$$g_{22} = a^2(t)r^2 \tag{4.27}$$

$$g_{33} = a^2(t)r^2\sin^2\theta \tag{4.28}$$

Η μετρική του χωρόχρονου σ’ αυτήν την περίπτωση, όπου περιγράφουμε μία λύση δυναμική που εξαρτάται από τον χρόνο, είναι:

$$ds^2 = -dt^2 + a^2(t)\,d\Sigma^2 \tag{4.29}$$

όπου a^2 ο συντελεστής κλίμακας, που όπως βλέπουμε εξαρτάται από τον χρόνο,

$$d\Sigma^2 = \frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2 d\Omega^2 \tag{4.30}$$

και $$d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta\, d\phi^2 \tag{4.31}$$

άρα έχουμε τελικά

$$ds^2 = -dt^2 + a^2(t)\left\{\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2 d\theta^2 + r^2\sin^2\theta d\phi^2\right\} \tag{4.32}$$

όπου k είναι η χωρική καμπυλότητα, με *k=-1;0;1*

για *k=-1* έχουμε αρνητική καμπύλωση του χώρου (υπερβολικός χώρος)

για *k=0* έχουμε τον Ευκλείδιο χώρο δηλαδή τον επίπεδο χώρο

και για *k=1* έχουμε θετική καμπύλωση του χώρου (ελλειπτικός χώρος).

και μπορούμε να περιγράψουμε τον τανυστή της ενέργειας $T_{\mu\nu}$

$$T_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} -\rho & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p \end{pmatrix} g_{\mu\nu} \tag{4.33}$$

με ρ η πυκνότητα ενέργειας και p η πίεση.

Από τον τανυστή της ενέργειας προκύπτουν και οι ιδιότητες της αρχικής μας υπόθεση, αφού, το $T_{00} = -\rho$ είναι σταθερό και ίσο με την πυκνότητα ενέργειας άρα έχουμε έναν ομογενή χώρο και τα T_{11},T_{22},T_{33} είναι ανάλογα της πίεσης που είναι σταθερή, άρα έχουμε έναν ισότροπο χώρο.

Αφού έχουμε ορίσει τις αρχικές παραμέτρους, είμαστε έτοιμοι να λύσουμε το πρόβλημα ακολουθώντας την γνωστή από πριν διαδικασία. Υπολογίζουμε τα σύμβολα Christoffel, στην συνέχεια υπολογίζω τον τανυστή Reimann και τέλος τον τανυστή Ricci. Έχοντας υπολογίσει όλα αυτά, είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε όλα τα στοιχεία της εξίσωσης του Einstein και να καταστρώσουμε το σύστημα διαφορικών εξισώσεων από το οποίο θα προκύψουν και οι τελικές εξισώσεις που περιγράφουν το αρχικό μας πρόβλημα.

Το σύστημα των διαφορικών εξισώσεων που προκύπτει είναι:

$$G_{00} - \Lambda = 8\pi G\rho \tag{4.34}$$

$$G_{11} + \frac{\Lambda a^2(t)}{1-kr^2} = -8\pi G \frac{a^2(t)}{1-kr^2} p \tag{4.35}$$

$$G_{22} + \Lambda a^2(t) r^2 = -8\pi G a^2(t) r^2 p \tag{4.36}$$

$$G_{33} + \Lambda a^2(t) r^2 \sin^2\theta = -8\pi G a^2(t) r^2 \sin^2\theta\, p \tag{4.37}$$

με

$$G_{00} = 3\frac{\dot{a}^2}{a^2} + 3\frac{k}{a^2} \quad (4.38)$$

$$G_{11} = \frac{k + \dot{a}^2 + 2a\ddot{a}}{-1 + kr^2} \quad (4.39)$$

$$G_{22} = -r^2(k + \dot{a}^2 + 2a\ddot{a}) \quad (4.40)$$

$$G_{33} = G_{22}\sin^2\theta \quad (4.41)$$

Τα G_{22} και G_{33} είναι ανάλογα και κάνοντας τις κατάλληλες πράξεις, προκύπτει ότι ανεξάρτητα είναι μόνο τα G_{00} και G_{11}. Εξισώνοντας τις (4.38) και (4.39) με τα T_{00} και T_{11} αντίστοιχα, σύμφωνα πάντα με την αρχική μας σχέση, δηλαδή την (4.23), προκύπτουν οι παρακάτω εξισώσεις:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{k}{a^2} - \frac{\Lambda}{3} = \frac{8\pi G}{3}\rho \quad (4.42)$$

$$\left(\frac{\ddot{a}}{a}\right) = -\frac{4\pi G}{3}\left(\rho + 3p\right) + \frac{\Lambda}{3} \quad (4.43)$$

Στην (4.42) εισάγοντας την σταθερά του Hubble $H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2$, θα γράφεται:

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{\Lambda}{3} - \frac{k}{a^2} \quad (4.44)$$

που είναι γνωστή ως η εξίσωση του Freidman.

Συνδυάζοντας τις (4.42) , (4.43) και με δεδομένο ότι $H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2$, προκύπτει η εξίσωση:

$$\left(\frac{\ddot{a}}{a}\right) = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) + \frac{\Lambda}{3} \qquad (4.45)$$

που είναι η εξίσωση του Raychaudhury ή όπως είναι ευρύτερα γνωστή ως η δεύτερη εξίσωση Freidman.

Στην εξίσωση του Freidman (4.44) για *k=Λ=0,* έχουμε:

$$H = \sqrt{\frac{8\pi G}{3}\rho} \qquad \text{άρα} \qquad \frac{\dot{a}}{a} = \sqrt{\frac{8\pi G}{3}\rho}$$

και τελικά $a = a_0 \exp\left(\sqrt{\frac{8\pi G}{3}\rho} \cdot t\right)$

(4.41)

βλέπουμε δηλαδή, ότι ο συντελεστής κλίμακας έχει εκθετική μορφή, που σημαίνει ότι ο χώρος εξελίσσεται με εκθετικό ρυθμό στον χρόνο.

Από την δεύτερη εξίσωση του Freidman (4.45), παρατηρούμε ότι ο ρυθμός αυτός αύξησης $\ddot{a}$ μειώνεται κατά την πάροδο του χρόνου, οπότε υπάρχει μια τάση να σταθεροποιηθεί στην τιμή Λ/3 και να γίνει γραμμική η αύξηση του σύμπαντος με τον χρόνο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:

Πολυμέσα

Adobe Flash

1) ***Τι είναι το Adobe Flash***
2) ***Το Περιβάλλον Εργασίας του Flash***
3) ***Symbols***
4) ***Actions Panel***
5) ***Ήχος***
6) ***Κινούμενα Γραφικά***
7) ***Motion Guide***
8) ***Ανάλυση του Quiz της Εργασίας***

Joomla

1) ***Τι είναι το Joomla***
2) ***Ιεραρχία***
3) ***Template***
4) ***Modules***
5) ***Content***
6) ***Λειτουργία***
7) ***Components***
8) ***Plug-in***
9) ***Πλεονεκτήματα του Joomla***

HTML

1) ***Τι είναι η HTML***
2) ***Η Δομή της HTML***
3) ***Μορφοποίηση Κειμένου – Βασικές Ετικέτες***
4) ***Ιδιότητες Ετικετών***
5) ***Διαμόρφωση Κειμένου***

6) ***Λίστες***
7) ***Εισαγωγή Εικόνας***
8) ***Σύνδεσμοι και Δεσμοί***
9) ***Πίνακες***

Adobe Flash

1. Τι είναι το Adobe Flash

Το Adobe Flash (πρώην Macromedia Flash) είναι μια πλατφόρμα πολυμέσων που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό κινούμενων σχεδίων, βίντεο αλλά και διαδραστικότητας σε ιστοσελίδες. Το Flash χρησιμοποιείται συχνά για διαφημίσεις παιχνιδιών, καθώς και σειρές κινουμένων σχεδίων.

Το Flash χειρίζεται διανυσματικά γραφικά για την παροχή κινούμενου κειμένου, σχεδίων και φωτογραφιών. Υποστηρίζει την αμφίδρομη ροή ήχου και εικόνας και μπορεί να συλλάβει τον χρήστη με την χρήση του ποντικιού, του πληκτρολόγιου, αλλά και απ' το μικρόφωνο και την κάμερα. Το Flash περιέχει μία αντικειμενοστραφή γλώσσα προγραμματισμού που ονομάζεται ActionScript.

Τα Flash αρχεία μπορούν και εμφανίζονται στα συστήματα υπολογιστών και συσκευών, χρησιμοποιώντας το Adobe Flash Player , το οποίο είναι διαθέσιμο δωρεάν για κοινά προγράμματα περιήγησης στο διαδύκτιο, μερικά κινητά τηλέφωνα και σε μερικές άλλες ηλεκτρονικές συσκευές. Σκοπός του Flash είναι να εμπλουτίζει την εμπειρία των χρηστών διαδικτύου, αλλά και για την ευκολότερη χρήση του. Φυσικά, η εκτεταμένη χρήση του κυρίως από τον χώρο της διαφήμισης, μπορεί να προκαλέσει τα αντίθετα αποτελέσματα και να γίνει ενοχλητικό, κάτι που έχει οδηγήσει σε μια βιοτεχνία που ειδικεύεται στην παρεμπόδιση του Flash περιεχομένου.

Μόλις ανοίγουμε το flash εμφανίζεται η παρακάτω εισαγωγική οθόνη:

- Η στήλη **“Open a Recent Item”** εμφανίζει τα τελευταία αρχεία που επεξεργαστήκαμε.

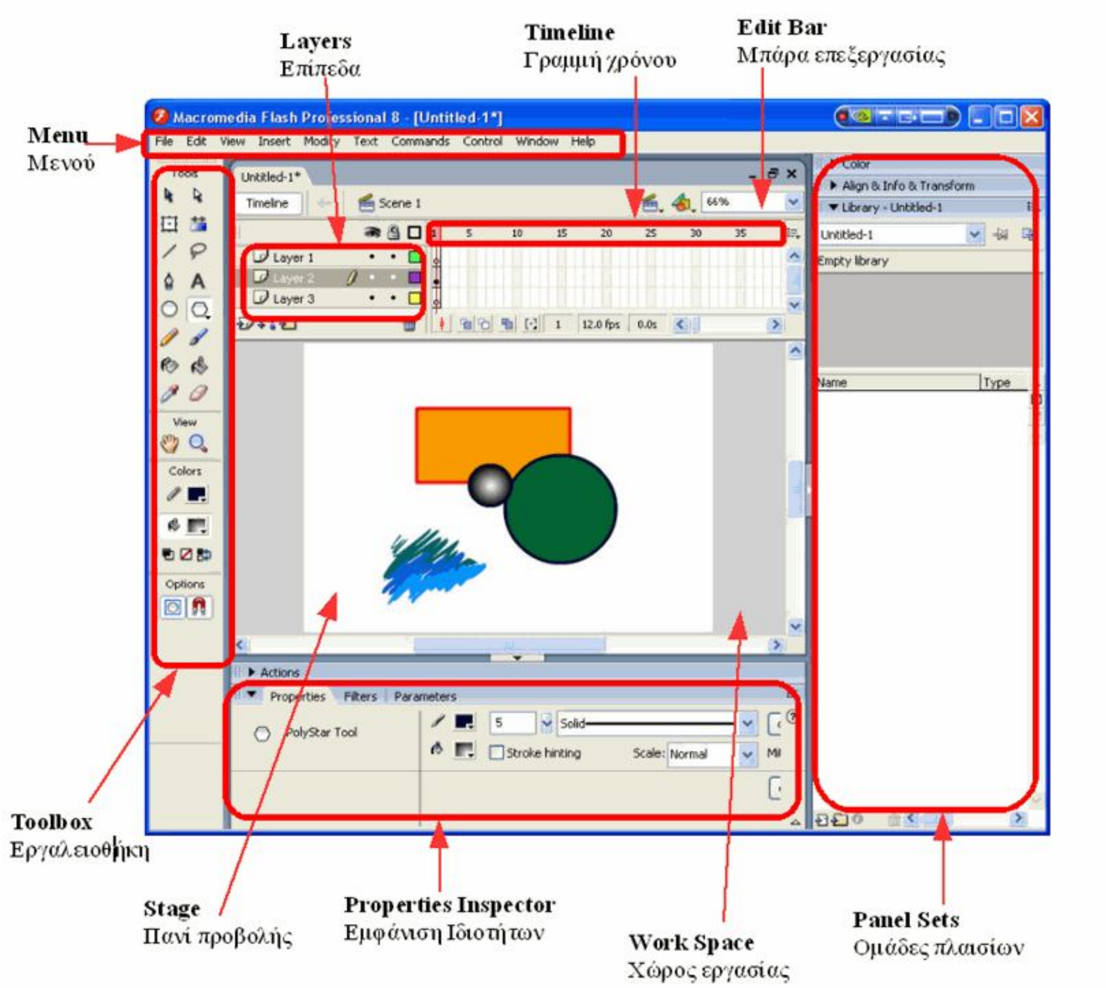
- Η 2η στήλη **“Create New”** δημιουργεί νέο αρχείο [επιλέγουμε "Flash Document"].

- Η 3η στήλη **“Create from Template”** δημιουργεί νέο αρχείο βασιζόμενο σε κάποιο πρότυπο (πχ. παρουσίασης, φόρμας κλπ.).

2. Περιβάλλον Εργασίας του Flash

Σκηνικό (scene)

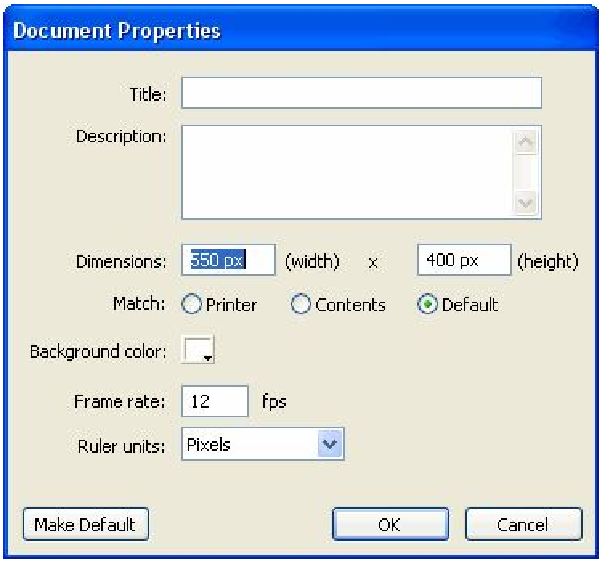
Επιλέγουμε από την μεσαία στήλη το Create New->Flash Document.



- Το **stage** είναι ο χώρος που θα εμφανίζεται στην τελική ταινία, δηλαδή είναι ο χώρος που πραγματοποιείται όλη η δράση.

- Το **work space** είναι ο ολικός χώρος που μπορούμε να δουλεύουμε. Έτσι, αν ένα αντικείμενο σε κάποια χρονική στιγμή είναι το μισό έξω από το stage τότε στην τελική ταινία θα εμφανίζεται μόνο το μέρος του που είναι πάνω στο stage. Το εκτός θα κοπεί.

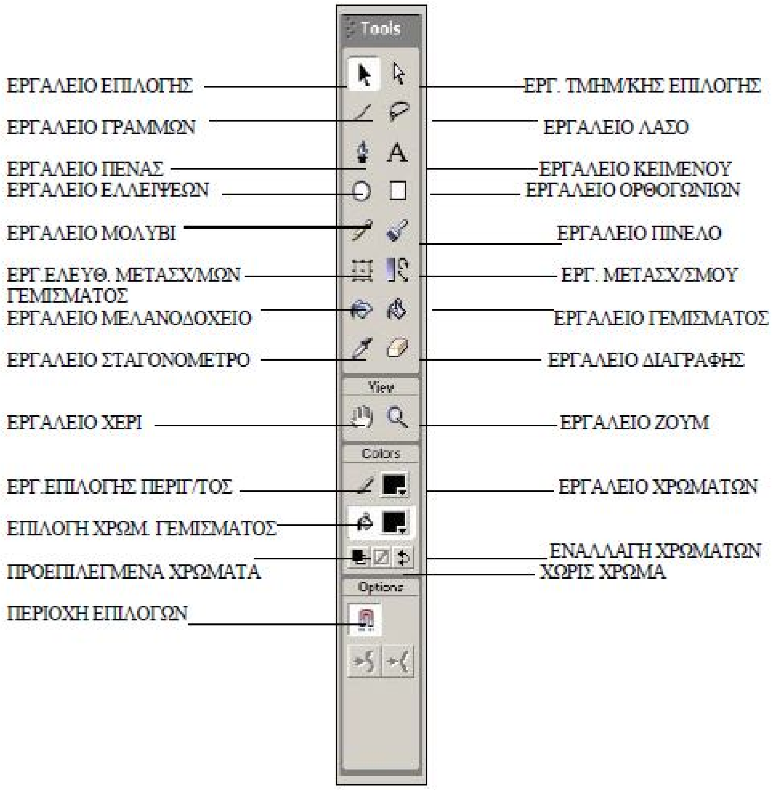
- Για να δούμε τα χαρακτηριστικά του stage και άρα και της ταινίας, επιλέγουμε **Modify>Document** ή **δεξί κλικ πάνω στο stage** > **επιλογή size στο Properties Isnpector**. Θα εμφανιστείτο παρακάτω παράθυρο:



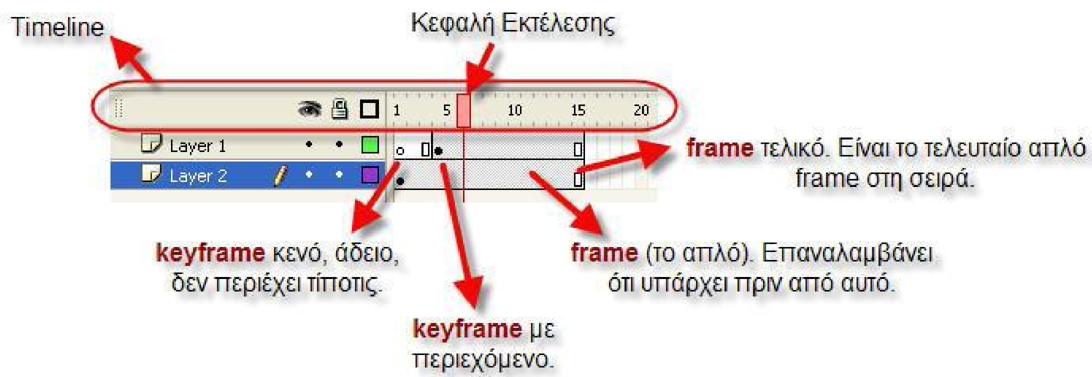
Τις διαστάσεις συνήθως τις ορίζουμε σε **pixels** (εικονοστοιχεία) από το μενού **'Ruler Units'**. Προσοχή, από την αρχή επιλέγουμε τις σωστές διαστάσεις της εφαρμογής μας (ταινίας, παιχνιδιού, παρουσίασης κλπ) γιατί μετά είναι πολύ δύσκολο και χρονοβόρο να ξαναστήσουμε τη σκηνή μας.

Επίσης ορίζουμε τα **frames** (χρονικά πλαίσια ή καρέ). Τόσο το video, η τηλεόραση, αλλά και ο κινηματογράφος μας δίνουν την αίσθηση της κίνησης με την γρήγορη εναλλαγή στατικών εικόνων! Αυτές οι εικόνες είναι τα frames(καρέ) που θα εμφανίζονται σε ένα δευτερόλεπτο. Έτσι πχ. 25 fps (frames per sec) σημαίνει ότι για μία ταινία 10" θα χρειαστεί να σχεδιάσουμε 10*25=250 frames.

Εργαλειοθήκη



Διάγραμμα ροής χρόνου(Timeline)

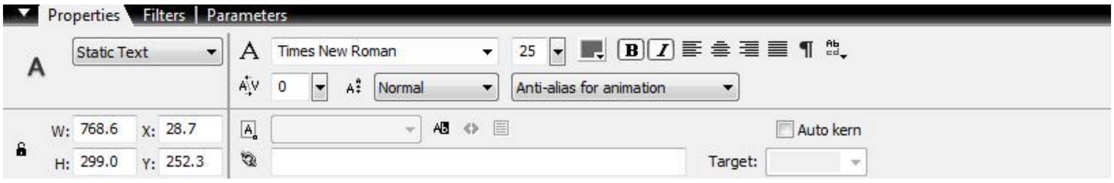


Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε την timeline (χρονογραμμή) με δύο layers (Layer1 και Layer2) καθώς και όλων των ειδών τα frames:

- **Keyframes** είναι όσα μπορούν να δεχθούν μοναδικό περιεχόμενο και τα διακρίνουμε στο timeline απο την μαύρη τελεία που φέρουν.
- **Frames** είναι όσα παίρνουν το περιεχόμενο του προυπάρχοντος keyframe και δεν έχουν τελεία.
- **blank, empty, clear keyframes** είναι όσα δεν έχουν περιεχόμενο και είναι λευκά. Όσα έχουν περιεχόμενο είναι χρωματισμένα (με ένα γκρίζο χρώμα).

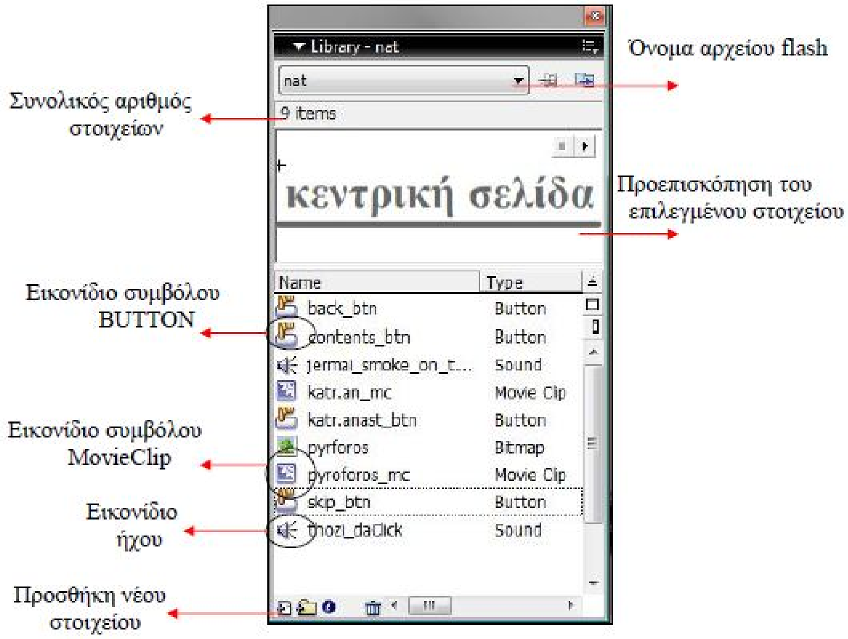
Τα **layers** μπορούμε να τα σκεφτούμε σαν διαφάνειες ή διαφανή επίπεδα όπου σε κάθε διαφάνεια ή layer σχεδιάζουμε ένα συγκεκριμένο αντικείμενο. Το πάνω layer (στο παραπάνω σχήμα είναι το Layer 1) υπερκαλύπτει τα κατώτερα layer (στο παραπάνω σχήμα υπάρχει ένα κατώτερο layer, το Layer2). Άρα στο παραπάνω σχήμα, ότι υπάρχει στο Layer1 θα εμφανίζεται πάνω από τα αντικείμενα του Layer2.

Η παλέτα των ιδιοτήτων(Property Inspector)



Με τη βοήθεια της παλέτας των Ιδιοτήτων μπορούμε να αλλάξουμε τη συμπεριφορά και τις ιδιότητες των υποδειγμάτων των συμβόλων, να αλλάξουμε την απόχρωση (tint), τη φωτεινότητα (brightness) και τη διαφάνεια (alpha) ενός αντικειμένου που βρίσκεται σ' ένα καρέ-κλειδί, να ορίσουμε μια ετικέτα (label) για ένα συγκεκριμένο καρέ και να καθορίσουμε τον τύπο του animation, ή ακόμα και να επιλέξουμε ένα αρχείο ήχου από μια λίστα εισαγόμενων αρχείων ήχου. Μπορούμε ακόμα να δημιουργήσουμε ηχητικά εφέ, όπως fade in/fade out, να συγχρονίσουμε τον ήχο με διάφορα συμβάντα και να ορίσουμε πόσες φορές θα επαναληφθεί (Loops).

Η Βιβλιοθήκη(Library)



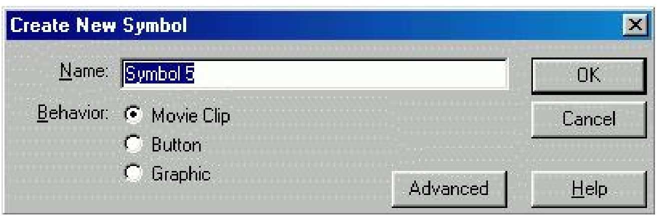
Οτιδήποτε φτιάχνουμε ή κάνουμε import μπαίνει αυτόματα στη library. Εκεί μπορούμε να δούμε και να κάνουμε preview ότι έχουμε φτιάξει. Τα αντικείμενα της library τα τοποθετούμε στο flash με drag&drop. Το τελικό μέγεθος στο flash (swf) αρχείο μας δεν εξαρτάται από το τι υπάρχει στη library, αλλά από το τι από όλα αυτά έχουμε εισάγει στο έργο μας.

3. Σύμβολα (Symbols)

Για να δημιουργήσουμε ένα symbol κάνουμε τα εξής :

Πηγαίνουμε από το μενού: Insert/new symbol ή εναλλακτικά με ctrl+F8.

Θα εμφανιστεί η παρακάτω εικόνα:



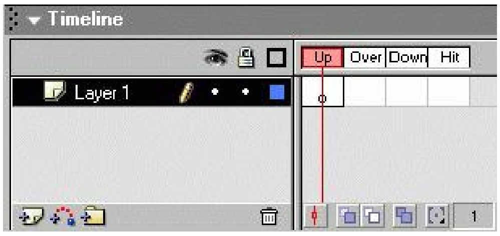
Δίνουμε κάποιο όνομα.Στη συνέχεια, επιλέγουμε αν θέλουμε να δημιουργήσουμε έναbutton, movie clip ή graphic.

Κάθε symbol που φτιάχνουμε μπαίνει στη library (Ctrl+L). Στη συνέχεια μπορούμε να τα σύρουμε και να τα κάνουμε drop στο flash μας (στο layer και frame που θέλουμε) όπως και οτιδήποτε άλλο υπάρχει στη library.

Τα movie clips είναι σαν "αυτόνομα" flash αρχεία με δικό τους timeline και layers τα οποία μπορούμε να τα χειριστούμε όπως και το timeline σε ένα νέο flash αρχείο χωρίς περιεχόμενο. Μέσα στα movie clips μπορούμε να έχουμε το περιεχόμενό μας.

Σύμβολα Buttons

Έστω ότι δημιουργούμε ένα button.
Το Timeline αλλάζει τελείως και γίνεται όπως στην παρακάτω εικόνα:



Κάθε button έχει 4 frames: *up, over, down, hit*.
up : Αυτό που έχουμε φτιάξει.

Over : Αυτό που φαίνεται όταν κάποιος περάσει με το mouse πάνω από το button.

Down : Αυτό που θα βλέπει κάποιος όταν κάνει κλικ πάνω σε ένα button.

Hit : Αυτό δεν φαίνεται, αλλά υπάρχει.

Καθένα από τα τέσσερα αυτά καρέ είναι δυνατόν να έχει οποιοδήποτε περιεχόμενο, εικόνα, κείμενο ή ήχο, οργανωμένο σε επίπεδα, όπως ακριβώς συμβαίνει με το βασικό διάγραμμα ροής χρόνου της ταινίας. Επιλέγουμε ένα από τα πλαίσια που θέλουμε και το μετατρέπουμε σε πλαίσιο κλειδί (keyframe). Μπορούμε μετά να επιλέξουμε ένα άλλο χρώμα γεμίσματος έτσι ώστε αν αφήσουμε τον δείκτη του ποντικιού πάνω από το πλήκτρο ή κάνουμε κλικ πάνω του να αλλάξει χρώμα κ.ο.κ.

Σύμβολα Movie Clips

Τα movie clips μπορούμε να τα φανταστούμε ως "αυτόνομα" flash αρχεία με δικό τους timeline και layers τα οποία χειριζόμαστε όπως και το timeline σε ένα νέο flash αρχείο χωρίς περιεχόμενο. Μέσα στα movie clips μπορούμε να έχουμε το περιεχόμενό μας.

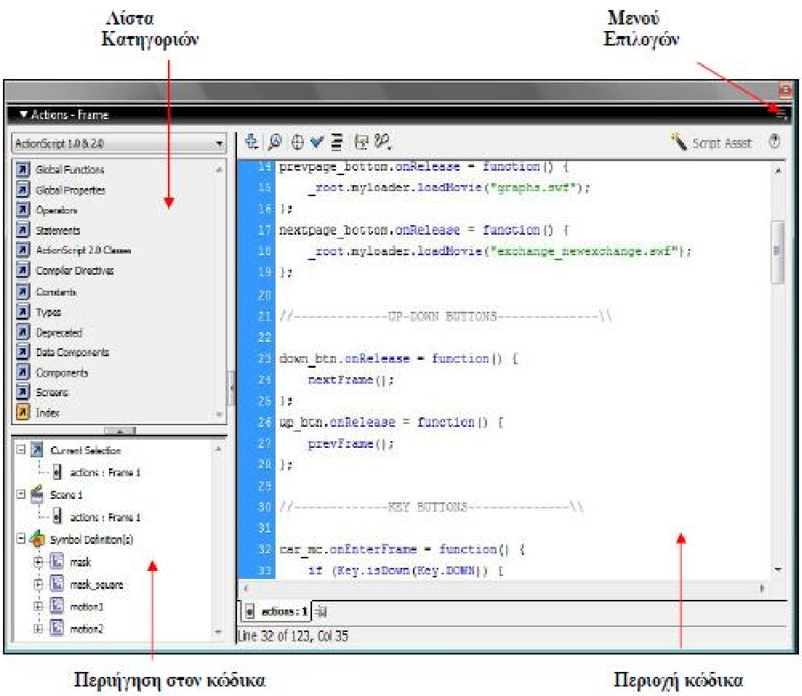
Σύμβολα Graphics

Τα σύμβολα graphics έχουν ίδιο timeline όπως και τα movie clips με στατικό περιεχόμενο. Ό,τι υπάρχει στο πρώτο frame είναι αυτό που μπορούμε να δούμε.

Τα Υποδείγματα Συμβόλων (Instances)

Ένα *υπόδειγμα (instance)* είναι ένα αντίγραφο που δημιουργείται με βάση ένα υπάρχον σύμβολο. Μπορούμε να τροποποιούμε τα υποδείγματα συμβόλων χωρίς να επηρεάζεται το αρχικό σύμβολο από το οποίο προέρχονται, ενώ αν τροποποιήσουμε το πρωτότυπο σύμβολο τότε θα επηρεαστούν όλα τα υποδείγματά του. Για να δημιουργήσουμε ένα υπόδειγμα ενός συμβόλου, εμφανίζουμε το παράθυρο της βιβλιοθήκης και σύρουμε το σύμβολο που θέλουμε πάνω στο Σκηνικό.

4. Actions Panel



Actionscript

ActionScript είναι η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιεί το Flash και μας επιτρέπει να προσθέτουμε αλληλεπίδραση στο αρχείο μας, εισάγοντας οδηγίες και εντολές τις οποίες θέλουμε να ακολουθεί η ταινία μας. Το ActionScript παρέχει στοιχεία, όπως εντολές, σύμβολα λογικών και μαθηματικών πράξεων, αντικείμενα, τα οποία τοποθετούμε στον κώδικα μαζί και υπαγορεύουν στην ταινία ενέργειες που οφείλει να ακολουθήσει. Για παράδειγμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ActionScript για να δημιουργήσουμε κουμπιά "πλοήγησης-περιήγησης" στα περιεχόμενα της ταινίας μας, κουμπιά δηλαδή, που θα μας βοηθούν να περιπλανηθούμε στις διάφορες σελίδες του ιστοχώρου μας. Μπορούμε ακόμα να χρησιμοποιήσουμε τον προγραμματισμό με χρήση ActionScript για πιο σύνθετες εφαρμογές όπως εφαρμογές εξομοίωσης, σύνθετα λογισμικά, χειρισμό δεδομένων, σύνδεση με εκτέλεση κώδικα σε php, asp, jsp σε αντίστοιχους servers καθώς και επικοινωνία με βάσεις δεδομένων.

Σημεία στίξης στο Actionscript

Το flash χρησιμοποιεί τα σημεία στίξης, για να διαχωρίσει και να οργανώσει τις εντολές. Τα βασικά στοιχεία σύνταξης του ActionScript περιλαμβάνουν τα εξής:

- **Το ελληνικό ερωτηματικό ; (semicolon):** σε μια εντολή ActionScript, όπως η τελεία σε μια συνηθισμένη πρόταση, καθορίζει το τέλος της εντολής. Όλες οι εντολές τελειώνουν με ελληνικό ερωτηματικό.

  Παράδειγμα:
  Σε ένα movie symbol:
  ```
  onClipEvent (mouseUp) {
  gotoAndPlay(12);
  this.gotoAndPlay(4);
  }
  ```

- **Η ελληνική άνω και κάτω τελεία : (colon):** χρησιμοποιείται για να δηλώσουμε τον τύπο δεδομένων των μεταβλητών.

  Παράδειγμα:
  ```
  var myNum:Number ;
  ```

- **Οι παρενθέσεις ():** ομαδοποιούν τα επιχειρήματα που αποδίδονται σε μια εντολή ActionScript. Όταν ορίζουμε ή καλούμε μια συνάρτηση (Function) στο ActionScript, τοποθετούμε παραμέτρους μέσα στις παρενθέσεις.

  Παράδειγμα:
  Σε ένα movie symbol
  ```
  onClipEvent (mouseUp) {
  gotoAndPlay(12);
  this.gotoAndPlay(4);
  }
  ```

- **Οι αγκύλες {}:** ομαδοποιούν συγγενικές εντολές ActionScript. Μπορούμε ακόμα να χρησιμοποιήσουμε αγκύλες μέσα σε ήδη υπάρχουσες αγκύλες για να δημιουργήσουμε μια ιεραρχία εντολών.

  Παράδειγμα:
  ```
  onClipEvent (load) {
  mad = "12";
  mad2 = "11";
  }
  ```

- **Η τελεία (.):** στο ActionScript συνδέει μέρη του κώδικα. Στην περίπτωση που οργανώσουμε όλο τον κώδικα ActionScript σε ένα αυτόνομο επίπεδο, χρησιμοποιούμε το σύμβολο της τελείας . (dot operator) για να αποκτήσουμε πρόσβαση σε μεθόδους και ιδιότητες που ανήκουν σε υποδείγματα συμβόλων (Instances).

  Παράδειγμα:
  Για το movie clip με instance name: lab, μια μεταβολή στο rotation θα ήταν :
  ```
  lab._rotation = 12;
  ```

Τελεστές (>> , >, &, &&, +, -, =, κτλ.)

Είναι τα σύμβολα με τα οποία συνδέονται τα στοιχεία στην actionscript.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΛΕΣΤΩΝ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ

Τελεστής	Όνομα	Τύπος στοιχείων	Τύπος αποτελέσματος
==	Ισότητα	Όλοι	Λογικός (Boolean)
!=	Ανισότητα	Όλοι	Λογικός (Boolean)
>	Μεγαλύτερο	Όλοι	Λογικός (Boolean)
>=	Μεγαλύτερο ή ίσο	Όλοι	Λογικός (Boolean)
<	Μικρότερο	Όλοι	Λογικός (Boolean)
<=	Μικρότερο ή ίσο	Όλοι	Λογικός (Boolean)
===	strict equality	Όλοι	Λογικός (Boolean)
!==	strict inequality	Όλοι	Λογικός (Boolean)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΖΕΥΤΙΚΩΝ ΤΕΛΕΣΤΩΝ

Τελεστής	Όνομα	Τύπος στοιχείων	Τύπος αποτελέσματος
+	Πρόσθεση	Ακέραιος, Πραγματικός, Αλφαριθμητικός	Ακέραιος, Πραγματικός, Αλφαριθμητικός
-	Αφαίρεση	Ακέραιος, Πραγματικός	Ακέραιος, Πραγματικός
*	Πολλαπλασιασμός	Ακέραιος, Πραγματικός	Ακέραιος, Πραγματικός
/	Διαίρεση	Ακέραιος, Πραγματικός	Ακέραιος, Πραγματικός
%	Modulo διαίρεση (επιστρέφει το ακέραιο υπόλοιπο μιας διαίρεσης)	Ακέραιος, Πραγματικός	Ακέραιος, Πραγματικός
++	Αύξηση κατά ένα	Ακέραιος, Πραγματικός	Ακέραιος, Πραγματικός
--	Μείωση κατά ένα	Ακέραιος, Πραγματικός	Ακέραιος, Πραγματικός

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΛΕΣΤΩΝ ΑΝΑΘΕΣΗΣ Ή ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Τελεστής	Όνομα	Παράδειγμα	Σημαίνει
=	Ίσον	x = y	x = y
+=	Πρόσθεση κατά τιμή	x += y	x = x + y
-=	Αφαίρεση κατά τιμή	x -= y	x = x – y
*=	Πολλαπλασιασμός κατά τιμή	x *= y	x = x * y
/=	Διαίρεση κατά τιμή	x /= y	x = x / y
%=	Διαίρεση modulo κατά τιμή	x %= y	x = x % y
<<=	Αριστερή ολίσθηση κατά τιμή (πράξη bit)	x <<= y	x = x $$ y
>>=	Δεξιά ολίσθηση κατά τιμή (πράξη bit)	x >= y	x = x > y
>>>=	Συμπλήρωμα με μηδέν (πράξη bit)	x >>= y	x = x >>y
&=	Bitwise AND by value	x &= y	x = x & y
|=	Bitwise OR by value	x |= y	x = x | y
^=	Bitwise XOR by value	x ^= y	x = x ^ y

ΠΙΝΑΚΑΣ ΛΟΓΙΚΩΝ ΤΕΛΕΣΤΩΝ

Τελεστής	Όνομα	Τύπος στοιχείου	Τύπος αποτελέσματος
&&	AND	Boolean	Boolean
||	OR	Boolean	Boolean
!	NOT	Boolean	Boolean

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΛΕΣΤΩΝ ΠΡΑΞΕΩΝ ΜΕ BIT

Τελεστής	Όνομα	Αριστερό στοιχείο	Δεξιό στοιχείο
&	Bitwise AND	Ακέραια τιμή	Ακέραια τιμή
|	Bitwise OR	Ακέραια τιμή	Ακέραια τιμή
^	Bitwise XOR	Ακέραια τιμή	Ακέραια τιμή
~	Bitwise NOT	Κανένας	Ακέραια τιμή
<<	Αριστερή ολίσθηση	Ακέραια τιμή	Ποσό ολίσθησης
>>	Δεξιά Ολίσθηση	Ακέραια τιμή	Ποσό ολίσθησης
>>>	Συμπλήρωμα με μηδέν προς τα δεξιά	Ακέραια τιμή	Ποσό ολίσθησης

Παραδείγματα:

Score = 300;
Δίνει στο variable (μεταβλητή) με όνομα Score την τιμή 300.
score < highscore
Ρωτάει αν το score είναι μικρότερο από το highscore.
final.text = score 1 + score 2;
Δίνει στο textbox με όνομα instance το final την τιμή που προκύπτει
από το άθροισμα των score1 και score 2.

Λέξεις κλειδιά (if, else, do, on, case, for, in, this, var, function κτλ)

Οι συγκεκριμένες λέξεις ΔΕΝ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ονόματα σε variables labels κτλ γιατί είναι δεσμευμένες. Οι λέξεις αυτές χρησιμοποιούνται για να ξεκινήσουν ή να ενώσουν μια εντολή- ενέργεια.

Παραδείγματα :
on (release)...
if (percent==100)...
...else if (mama ==2)...

Κάθε παράδειγμα είναι ανεξάρτητο (για αυτό και τα αποσιωπητικά).

Δεδομένα (instances, variables κτλ)

Αφού τους δώσουμε μια τιμή μπορούμε να τα καλέσουμε και να τα
χρησιμοποιήσουμε μέσα στον κώδικα.

Παράδειγμα
Σε ένα frame γράφουμε:
final = math.floor(score*3);
Και σε ένα άλλο
If (final >= 100) {gotoAndPlay(3);}
η πιο απλά :
mine = 4;
και...
if (mine == 4); {play();}

Μεταβλητές (Variables)

Στις μεταβλητές μπορούμε να αποθηκεύσουμε κάποια δεδομένα, τα οποία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια μέσα στο έργο μας.

Τα δεδομένα αυτά μπορεί να είναι:

1) Strings: πχ : myVariable = "keimeno",
2) Boolean values: πχ : myVariable = true ή myVariable = false,
3) Αριθμοί: πχ : myVariable = 22.

Μια μεταβλητή μπορεί να έχει οποιαδήποτε ονομασία, δεν μπορεί όμως να περιλαμβάνει κενά σημεία στίξης και χαρακτήρες όπως @!$% κτλ.

Επιπλέον καλό θα είναι οι μεταβλητές να μην έχουν ένα γενικό όνομα όπως myvar αλλά κάτι που θα θυμίζει τα δεδομένα τα οποία περιέχουν.

π.χ. σε ένα παιχνίδι με αυτοκίνητα για να μην μπερδευόμασταν θα γράφαμε κώδικα:

```
maxSpeed = 11
acceleration = 1.2
brake = .98
```

Δύο μεταβλητές θα μπορούσαμε να τις προσθέσουμε αν είναι αριθμοί.
π.χ. το παρακάτω θα έδινε 23.

κώδικας:

```
varOne = 12;
varTwo = 11;
trace(varOne+varTwo)
```
κώδικας:
```
varOne = metablhth;
varTwo = 11;
trace(varOne+varTwo);
```

Αν όμως κάποια από τις μεταβλητές δεν ήταν αριθμός αλλά undefined μεταβλητή όπως πιο πάνω τότε αυτό θα επέστρεφε αποτέλεσμα NaN (not a number).

Σε περίπτωση που η μια μεταβλητή ήταν αριθμός και η άλλη κείμενο:
Το παρακάτω επιστρέφει spookyb52

κώδικας:

```
varOne = "spookyb";
varTwo = 52;
trace(varOne+varTwo);
```

Αυτό γίνεται γιατί το flash τις ενώνει όπως θα ένωνε ένα κείμενο. Το πρόβλημα μπορεί να υπάρξει όπως θα δούμε πιο κάτω σε φόρτωμα μεταβλητών από εξωτερικό αρχείο όπου ένας αριθμός μπορεί να αναγνωσθεί ως κείμενο με αποτέλεσμα το 11+23 αντί για 34 να δώσει 1123.

Εδώ σημειώνεται ότι το flash δίνει στο false την τιμή 0 και στο true την τιμή 1.

Έτσι το παρακάτω:

κώδικας:

```
if (clip.hitTest("_root.myclip")==true) {
trace("good")
}
```
θα μπορούσε να γραφτεί και ως:
παράθεση:
```
if (clip.hitTest("_root.myclip")==1) {
trace("good")
}
```
όπου true βάλαμε 1.

Πώς γράφουμε τον κώδικα για buttons, movie clips, frames

Ανάλογα με το αν ο κώδικας που γράφεται θα μπει σε ένα button, movie ή frame αλλάζει και ο κώδικας στην αρχή και το τέλος του. **ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:** Έστω ότι θέλουμε να μετακινηθούμε στο δεύτερο frame και να παίξουμε όλα τα frames από εκεί και πέρα. Ο κώδικας είναι:

```
gotoAndPlay(2);
```

Αν θέλουμε να βάλουμε τον κώδικα αυτό μέσα σε ένα frame τότε
γράφουμε:

```
gotoAndPlay(2);
```

Αν θέλουμε να βάλουμε τον κώδικα αυτό μέσα σε ένα button τότε
γράφουμε:

```
on (release) {
gotoAndPlay(2);
}
```

Αυτό που κάνουμε δηλαδή είναι να γράφουμε:
on (release) { ΚΩΔΙΚΑΣ ;}

Και πιο γενικά:

```
on(mouseEvent) {
statement(s);
}
```

Εκτός από το **release** έχουμε και τα παρακάτω *mouse events*:

press: Το κουμπί πατιέται ενώ το mouse είναι από πάνω του.

releaseOutside : Όταν πατήσουμε το button, αλλά δεν αφήσουμε το πλήκτρο του ποντικιού εκείνη τη στιγμή, αλλά αφού απομακρύνουμε το δείκτη από το button στη συνέχεια το απελευθερώνουμε.

rollOut: Η ενέργεια εκδηλώνεται αφού ο δείκτης του mouse απομακρυνθεί από ένα button πάνω από το οποίο πέρασε χωρίς να το πατήσετε.

rollOver: Η ενέργεια εκδηλώνεται αφού ο δείκτης του mouse περάσει πάνω από ένα button.

dragOut: Κάνουμε κλικ πάνω στο button και στη συνέχεια έχοντας πατημένο το πλήκτρο μετακινούμε το δείκτη έξω από το button (και το αφήνουμε).

dragOver: Κάνουμε κλικ πάνω στο button και στη συνέχεια έχοντας πατημένο το πλήκτρο μετακινούμε το δείκτη έξω από το button και χωρίς να το έχουμε αφήσει το επιστρέφουμε πάνω από το button.

keyPress ("key"): Αν πατήσουμε το ορισμένο πλήκτρο στο πληκτρολόγιο εκδηλώνεται ενέργεια.

Σε περίπτωση που θέλουμε μια ενέργεια να εκδηλώνεται σε περισσότερες από μία περιπτώσεις τότε απλά μετά το on και μέσα στην παρένθεση

χωρίζουμε με κόμμα και κενό τις διαφορετικές μεθόδους. Όπως και στο ακόλουθο παράδειγμα:

```
on (release, rollOut) {
gotoAndPlay(2);
}
```

Αν θέλουμε να γράψουμε τον κώδικα σε ένα Movie clip τότε η σύνταξη γίνεται:

```
onClipEvent (load) {
gotoAndPlay(2);
}
```

Εκτός από το load, υπάρχουν και τα enterframe, unload, mouseUp, mouseDown, mouseMove, keyUp, keyDown, data.

5. Ήχος

Το Flash μας δίνει απεριόριστες δυνατότητες διαχείρισης του ήχου. Μερικά από αυτά είναι η δυνατότητα αναπαραγωγής εξωτερικων αρχείων ήχου, τα οποία φορτώνουν με preloader, υποστήριξη ID3 Tags, καθορισμός του μεγέθους του buffer, έλεγχος της έντασης και του balance του ήχου. Πριν χρησιμοποιήσουμε οποιαδήποτε εντολή που αφορά τους ήχους, θα πρέπει πρώτα να δημιουργήσουμε ένα καινούριο Object όπως στο παρακάτω παράδειγμα:

```
mySound = new Sound();
```

Έπειτα, πάμε στον ήχο που έχουμε κάνει import στην Library μας, κάνουμε δεξί κλικ πάνω του, επιλέγουμε το Linkage, και τσεκάρουμε την επιλογή "Export for Actionscript". Έτσι, θα έχουμε την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε τον ήχο αυτον στον κωδικά μας. Πριν πατήσουμε "OK", δίνουμε και ένα όνομα στον ήχο μας (π.χ. melodia). Άρα, τώρα, για να καλέσουμε αυτόν τον ήχο, χρησιμοποιούμε την εντολή **attachSound**. Σύμφωνα με τα παραδείγματα που γράψαμε παραπάνω, η εντολή θα γραφτεί ως εξής:

```
mySound.attachSound("melodia");
```

Για να ελέγξουμε το πότε θα αρχίσει να παίζει ο ήχος, χρησιμοποιούμε την εντολή **start**. Η εντολή αυτή χρειάζεται 2 παραμέτρους. Η πρώτη καθορίζει από ποιο σημείο θα αρχίσει να παίζει ο ήχος και η δεύτερη πόσες φορές θα επαναληφθεί ο ήχος.

```
mySound.start(0, 1);
```

Ο ήχος μας θα αρχίσει από το σημείο μηδέν (δηλαδή από την αρχή) και θα παίξει μία φορά. Για να σταματήσουμε τον ήχο, χρησιμοποιούμε την εντολή **stop**.

```
mySound.stop();
```

Εναλλακτικά, υπάρχει και η εντολή **stopAllSounds**, η οποία δεν χρειάζεται παραμέτρους και σταματάει όλους τους ήχους. Τέλος, ένα μικρό ολοκληρωμένο παράδειγμα για το πως θα εισάγουμε έναν ήχο, μόλις κάποιος πατάει ένα κουμπί:

κώδικας:

```
mySound = new Sound();
mySound.attachSound("melodia");
myButton.onRelease = function(){
```

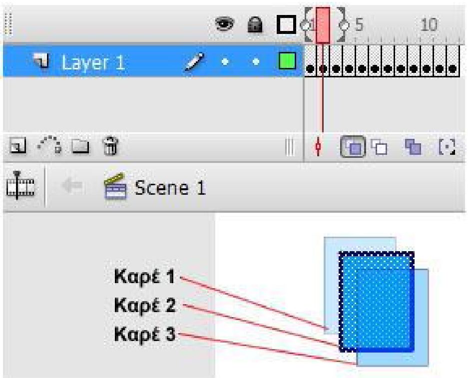
mySound.start(0, 1);
}

6. Κινούμενα Γραφικά (Animations)

Η λωρίδα χρόνου του Flash αποτελείται από καρέ κάθε ένα από τα οποία είναι και μια στατική εικόνα. Τα καρέ τοποθετούνται σε μια σειρά και η αναπαραγωγή αυτής της ακολουθίας δίνει την κίνηση. Τα καρέ στα οποία μπορούμε να μεταβάλουμε την κίνηση ονομάζονται καρέ κλειδιά. Ανάμεσα σε δύο καρέ κλειδιά τοποθετούμε 1 ή περισσότερα καρέ. Τα καρέ αυτά μπορούμε να τα τοποθετήσουμε με δύο τρόπους:

- *Βίαιη κίνηση*: Προσθέτοντας συνεχόμενα καρέ κλειδιά, το ένα δίπλα στο άλλο και αλλάζοντας σε κάθε καρέ το περιεχόμενο. Στην περίπτωση αυτή αρκεί να έχουμε έναaρχικό καρέ κλειδί.

- *Tweening*: Κάνοντας το Flash να τοποθετήσει ενδιάμεσα καρέ κίνησης ανάμεσα σε δύο καρέ κλειδιά. Η λειτουργία αυτή ονομάζεται *Tweening*. Το *tweening* είναι μια σειρά από καρέ με αρχή και τέλος, τα οποία τοποθετούνται αυτόματα από το Flash ανάμεσα σε δύο καρέ κλειδιά με σκοπό να δώσουν κίνηση.

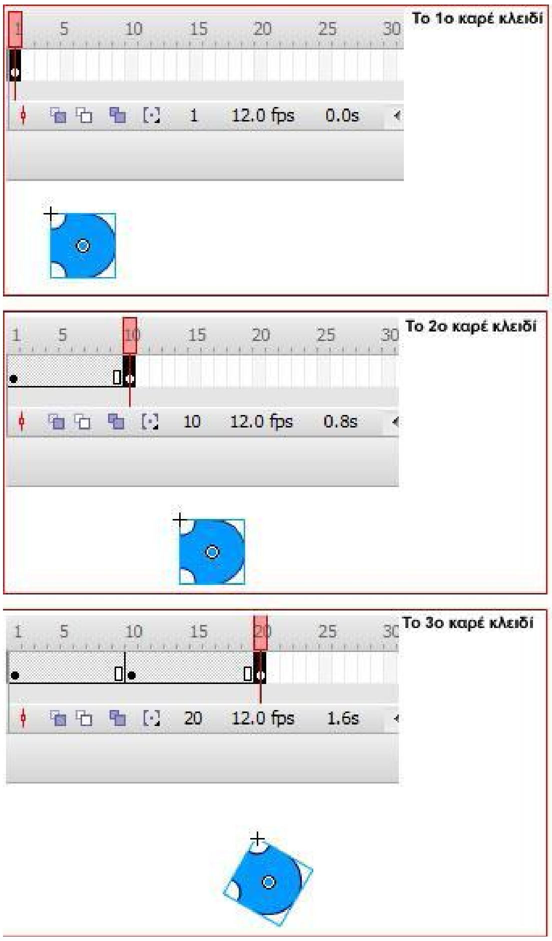


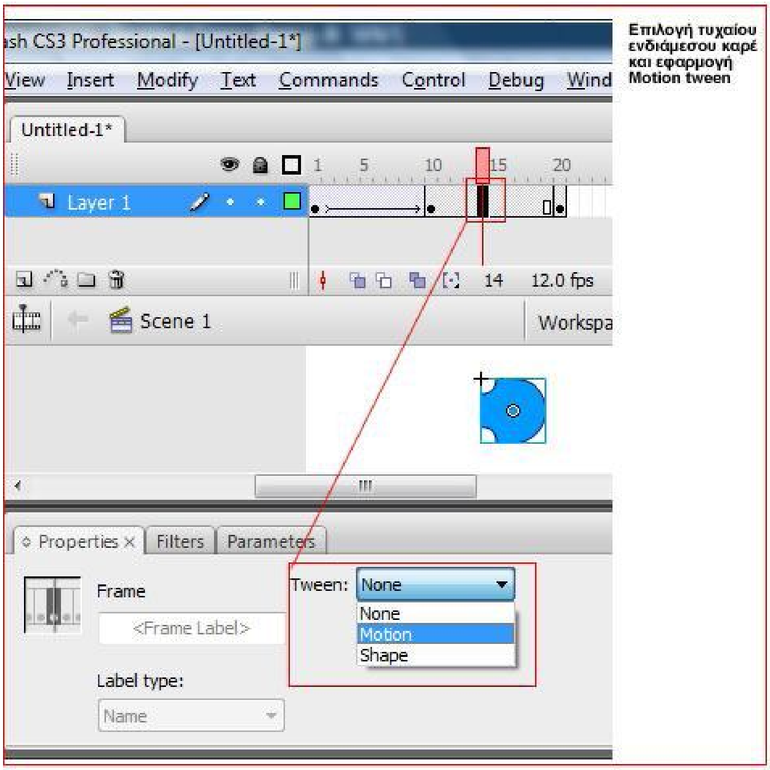
Τύποι Tweening

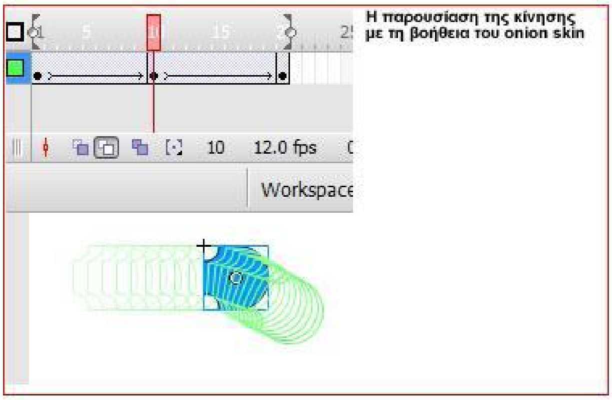
Για να εφαρμόσουμε την τεχνική αυτή χρειαζόμαστε δύο καρέ κλειδιά. Στο πρώτο καρέ κλειδί έχουμε την αρχική εικόνα και στο τελευταίο καρέ κλειδί έχουμε την μεταβαλλόμενη εικόνα. Για να εφαρμόσουμε tweening επιλέγουμε ένα οποιοδήποτε ενδιάμεσο καρέ και από το αναδυόμενο μενού **Tween** στην παλέτα Properties επιλέγουμε τον τύπο που θέλουμε. Ανάλογα με το τι αντικείμενο έχουμε εφαρμόζουμε τους ακόλουθους τύπους tweening.

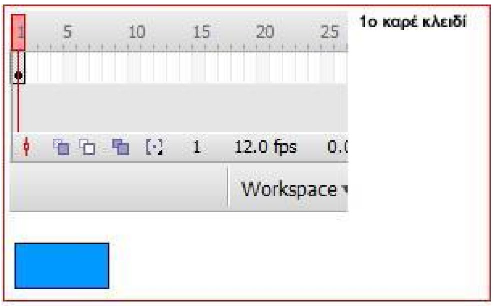
- **Motion Tween**: Αυτός ο τύπος κίνησης έχει σκοπό την μεταβολή της εμφάνισης ή/και της θέσης ενός αντικειμένου. Το αντικείμενο αυτό πρέπει να είναι σύμβολο. *Motion Tween* μπορούμε να εφαρμόσουμε μόνο σε ένα σύμβολο ανά επίπεδο. Δηλαδή εάν έχουμε τρία σύμβολα στα οποία θέλουμε να δώσουμε κίνηση θα χρειαστούμε τρία επίπεδα, ένα για κάθε σύμβολο.

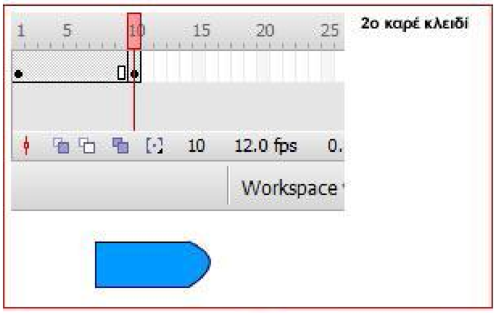
- **Shape Tween**: Αυτός ο τύπος κίνησης έχει σκοπό την μεταβολή του σχήματος ή/και της θέσης ενός αντικειμένου. Για να γίνει αυτό, το αντικείμενο δεν πρέπει να είναι σύμβολο. Μπορούμε να έχουμε παραπάνω από ένα αντικείμενα στο ίδιο επίπεδο αλλά με την προϋπόθεση πως δεν διασταυρώνει το ένα με το άλλο. Για τον λόγο αυτό, καλό είναι να βάζουμε κάθε αντικείμενο στο δικό του επίπεδο εφόσον θέλουμε να δώσουμε κίνηση, tweening. Σε περίπτωση που θέλουμε να εφαρμόσουμε κίνηση σε περισσότερα από ένα καρέ κλειδιά, θέτουμε τα καρέ κλειδιά στα καρέ που θέλουμε, κάνουμε τις αλλαγές σε αυτά και εφαρμόζουμε tweening σε ένα οποιοδήποτε καρέ ανάμεσα σε κάθε καρέ κλειδί.

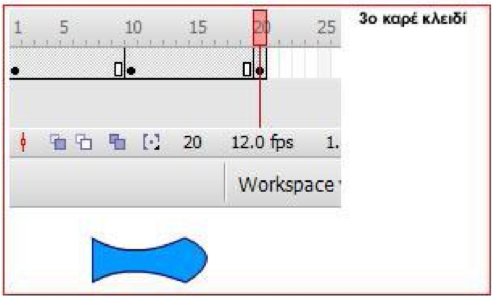


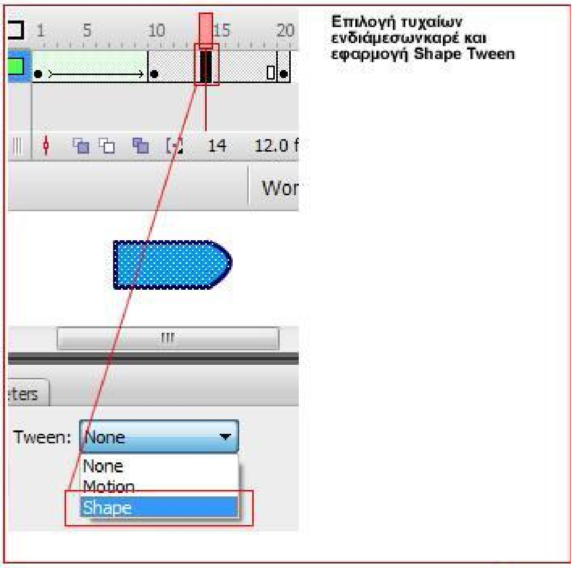

Επιλογή τυχαίου ενδιάμεσου καρέ και εφαρμογή Motion tween
Untitled-1*
Layer 1
Scene 1
Properties
Filters
Parameters
Frame
Tween: None
None
Motion
Shape
Label type:
Name

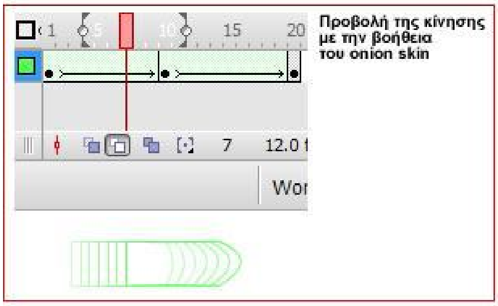

Η παρουσίαση της κίνησης με τη βοήθεια του onion skin
10
12.0 fps
Workspace


1ο καρέ κλειδί
1 5 10 15 20 25
1 12.0 fps
Workspace


2ο καρέ κλειδί
1 5 10 15 20 25
10 12.0 fps
Workspace


3ο καρέ κλειδί
1 5 10 15 20 25
20 12.0 fps
Workspace





Διαφορές

Ανάλογα με το τι κίνηση θέλουμε να δώσουμε πρέπει να έχουμε υπόψη κάποιους κανόνες. Οι κανόνες αυτοί εμφανίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

	Σχήμα	Ομάδα	Σύμβολο	Μπλοκ Κειμένου	Σπασμένο Κείμενο (Break-Apart)
Shape Tween	Ναί	Όχι	Όχι	Όχι	Ναί
Motion Tween	Όχι	Ναί	Ναί	Ναί	Όχι

7. Motion Guide

Το Motion Guide δεν είναι τίποτα άλλο από κίνηση του συμβόλου μας σε μια προκαθορισμένη διαδρομή, όπως καμπύλες και κύκλους. Ας δούμε ένα παράδειγμα ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

1. Δημιουργούμε ένα graphic σύμβολο ή σύρουμε ένα προϋπάρχον γραφικό σύμβολο από τη βιβλιοθήκη στο σκηνικό. Ονομάζουμε το layer "graphic".

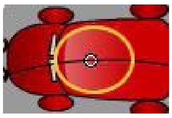
2. Κάνουμε δεξί κλικ στην ετικέτα "graphic" και επιλέγουμε "Add Motion Guide" από το pop-up παράθυρο.

3. Ένα νέο layer θα εμφανιστεί πάνω από το "graphic" layer με την ετικέτα "Guide:graphic".

4. Σχεδιάζουμε τη διαδρομή για το σύμβολό μας σε αυτό το νέο layer με το μολύβι ή το line tool (εργαλείο γραμμής). Για παράδειγμα: σχεδιάζουμε έναν κύκλο για το αυτοκίνητό μας.

5. Επιλέγουμε το frame 50 του guide layer και πατάμε το πλήκτρο "F5" για να εισαγάγουμε τα frames.

6. Τώρα πηγαίνουμε στο "Frame 1" του "graphic" layer και σύρουμε το σύμβολό μας σε ένα τέλος της διαδρομής μας. Καθώς σύρουμε το σύμβολό μας, θα δούμε ένα κυκλάκι πάνω στο σύμβολο. Αυτό το κυκλάκι θα πρέπει να πάει δεξιά κάτω από τη διαδρομή(path). Κάτι σαν αυτό που φαίνεται παρακάτω:

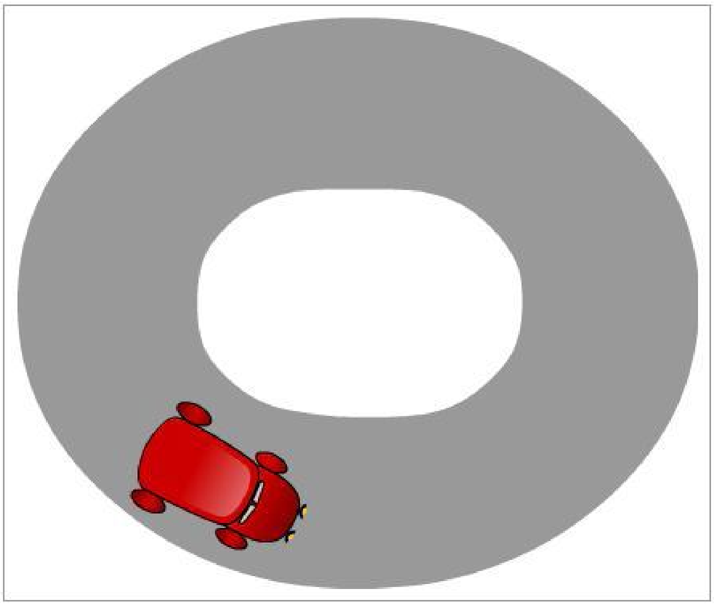


7. Τώρα πηγαίνουμε στο "Frame 50" του "graphic" layer και πατάμε F6 για να εισάγουμε ένα νέο keyframe (καρέ).

8. Και πάλι, το κυκλάκι θα πρέπει να πάει ακριβώς κάτω από τη διαδρομή.

9. Επιλέγουμε οποιοδήποτε frame μεταξύ 1 έως 50 του "graphic" layer. Κάνουμε δεξί κλικ και επιλέγουμε "motion tween" από το αναδυόμενο μενού.

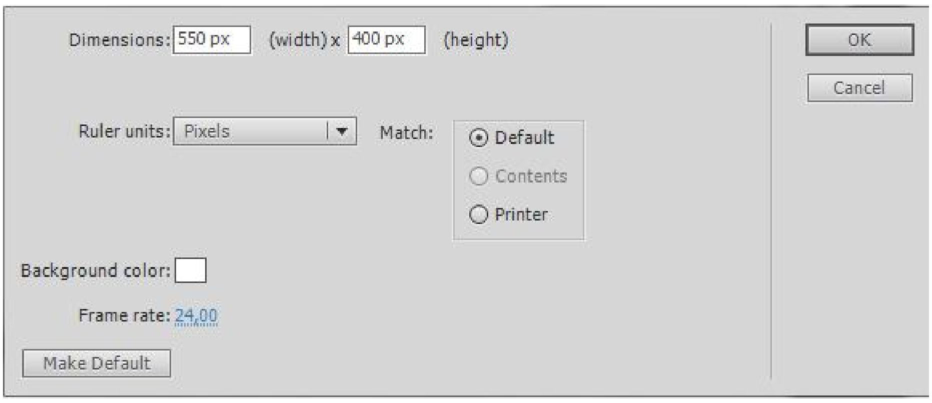
10. Πατάμε Ctrl + Enter για να δούμε το έργο μας.



8.Ανάλυση του Quiz της εργασίας

Stage

Έχοντας ανοίξει το πρόγραμμα Flash, το πρώτο πράγμα που κάνουμε είναι να ορίσουμε το μέγεθος, το χρώμα και γενικότερα τα χαρακτηριστικά του stage μας. Το stage είναι το τελικά εμφανιζόμενο πλαίσιο. Συναντάμε λοιπόν το παρακάτω:



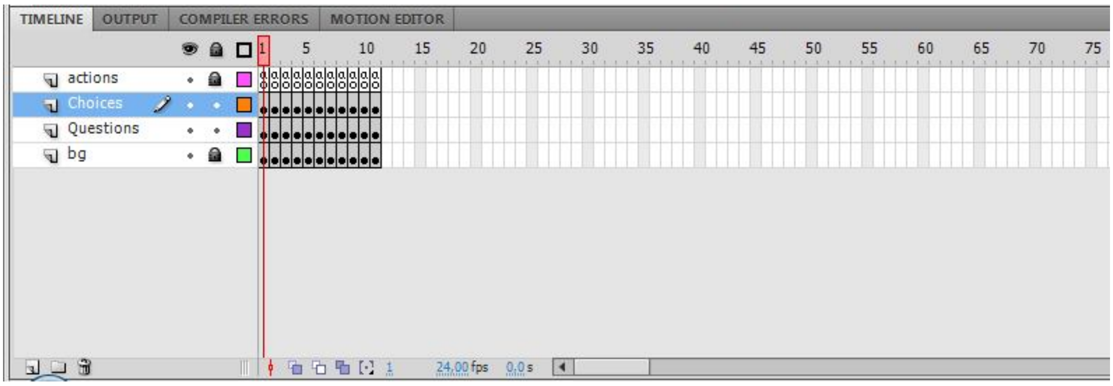
Αλλάζοντας το Dimensions, ορίζουμε τις διαστάσεις του stage που θέλουμε να δουλέψουμε. Το quiz έχει διαστάσεις 900 x 700. Επίσης μπορούμε να αλλάξουμε το χρώμα απ’ το Background color αλλά και το frame rate που είναι τα πόσα frames αντιστοιχούν σε ένα sec.

Είμαστε έτοιμοι λοιπόν να ξεκινήσουμε.

Layers

Τώρα θα ασχοληθούμε με το timeline και με ότι αυτό συνεπάγεται. Το timeline είναι στην ουσία τα περιεχόμενα του flash. Τα αριθμημένα κουτάκια είναι τα λεγόμενα frames. Όλα τα layers και όλα τα frames, αποτελούν το movie (ταινία). Η αρχική μορφή του timeline φαίνεται παρακάτω:

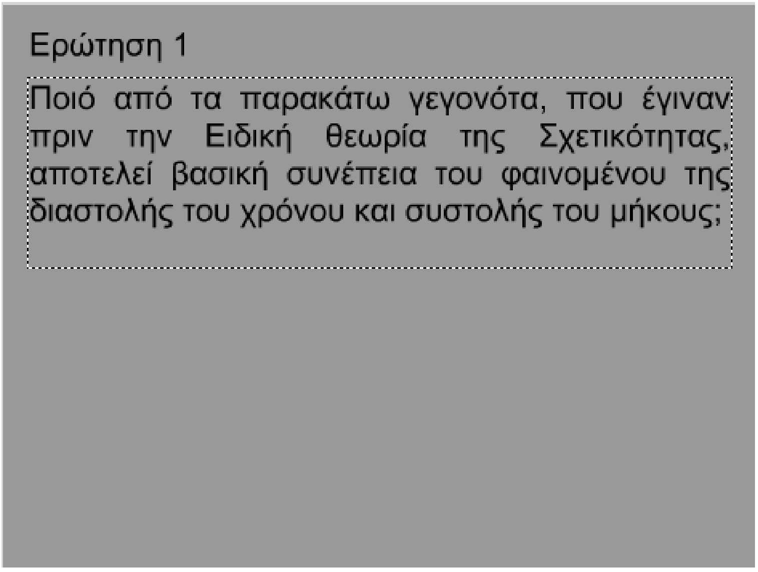
Στο timeline φτιάχνουμε διάφορα layers που το κάθε ένα αντιστοιχεί σε διαφορετικά αντικείμενα – σχέδια στο stage. Η χρήση αρκετών layers δημιουργεί ευκολότερες συνθήκες εργασίας και μας αποτρέπει από απλά λάθη. Στο quiz το timeline έχει την μορφή:



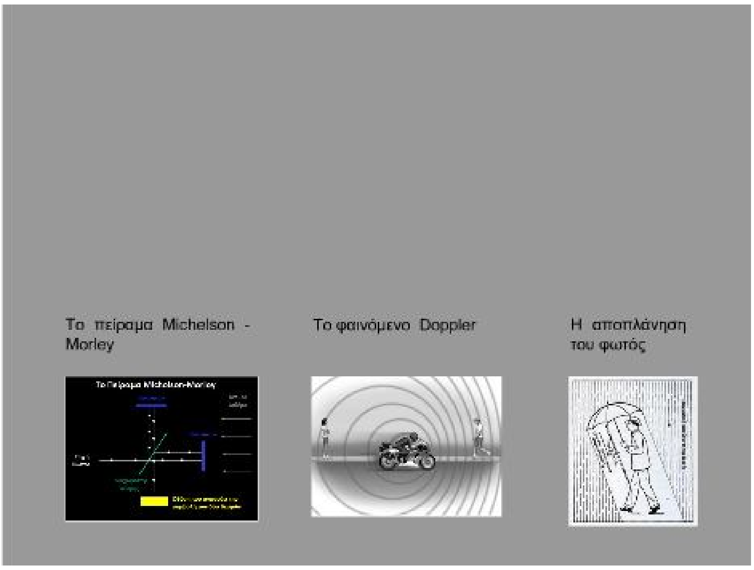
Βλέπουμε ότι υπάρχουν διάφορα layers. Το κάθε layer έχει την δικιά του βαρύτητα και αντιστοιχεί σε ένα κομμάτι του τελικού flash.

Το layer “bg” (background) αντιστοιχεί στο παρακάτω:

Το layer “questions” (ερωτήσεις), αντιστοιχεί στις ερωτήσεις που περιλαμβάνει το Quiz. Ενδεικτικά βλέπουμε μία από αυτές:

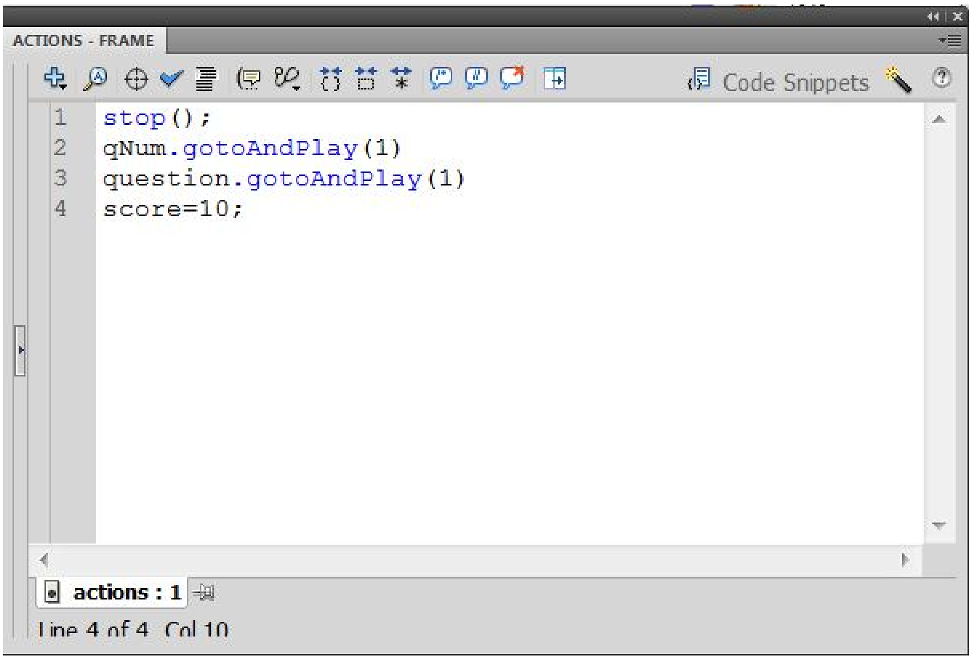


Το layer “choices” (επιλογές), αντιστοιχεί στο κομμάτι που βρίσκονται οι προτεινόμενες απαντήσεις που μπορεί να επιλέξει ο χρήστης, όπως για παράδειγμα:



και τέλος, το layer "actions" που δεν εμφανίζεται κάτι στο stage, αλλά είναι μια μορφή κώδικα που δίνει εντολές στα frame στα οποία αναφέρεται.

για παράδειγμα, ο κώδικας που είναι γραμμένος στο πρώτο frame είναι:



Παρακάτω θα αναλύσουμε, τι σημαίνει η κάθε γραμμή του κώδικα.

Symbols

Είδαμε στο quiz πράγματα, όπως ο ήχος που ακούγεται ή τα κουμπιά που όταν τα πατάμε πηγαίνουμε στην επόμενη ερώτηση. Πώς γίνονται όλα αυτά; Για να επιτύχουμε κάτι τέτοιο πρέπει να δημιουργήσουμε τα λεγόμενα symbols.

Ας θυμηθούμε λοιπόν τί είναι τα Symbols..

Ένα Symbol είναι ένα επαναχρησιμοποιούμενο αντικείμενο που χρησιμοποιείται και δημιουργείται στο Flash. Ένα σύμβολο μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε όλη την ταινία ή να εισάγεται και χρησιμοποιείται σε άλλες ταινίες. Υπάρχουν τρεις τύποι των συμβόλων: Γραφικά, Κουμπιά, και Movieclips.

Γραφικά (Graphics):

Γραφικά σύμβολα είναι επαναχρησιμοποιήσιμες στατικές εικόνες που χρησιμοποιούνται κυρίως για να δημιουργήσουμε κινούμενα σχέδια. Οποιοδήποτε διάνυσμα, απλό κείμενο ή εισαγόμενη φωτογραφία (bitmap), ή συνδυασμούς αυτών, μπορεί να μετατραπεί σε ένα μόνο ελεγχόμενο αντικείμενο: ως ένα γραφικό σύμβολο.

Κουμπιά (Buttons):

Τα σύμβολα Button χρησιμοποιούνται κυρίως για πλοήγηση μές το timeline. Προσθέτουν διαδραστικότητα στην ταινία καθώς ανταποκρίνονται σε κλικ του ποντικιού, πάτημα ενός πλήκτρου ή rollovers/rollout και άλλες δράσεις. Υπάρχουν διάφορες καταστάσεις του κουμπιού (απάτητο/από πάνω/πατημένο/κατά την διάρκεια που το πατάμε), (up/over/down/hit). Μπορούμε να προσδιορίσουμε ενέργειες που να αντιστοιχούν για την κάθε κατάσταση.

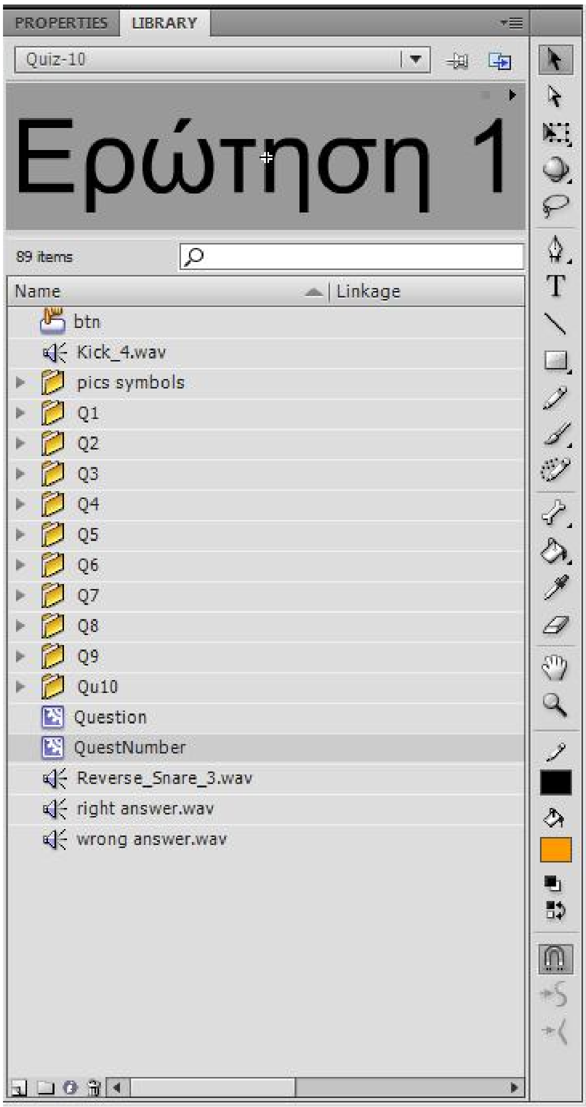
Movieclips:

Τα σύμβολα Movieclip είναι τα πιο ευέλικτα από τα σύμβολα και έχουν τις περισσότερες εφαρμογές. Αποτελούνται από ένα ή περισσότερα σύμβολα γραφικών ή κουμπιών. Είναι στην ουσία ταινίες flash μέσα στην ταινία flash. Έχουν το δικό τους timeline, όπως ακριβώς το κύριο timeline, που παίζει ανεξάρτητα από το timeline της ταινίας. Το καλύτερο πράγμα σχετικά με τη χρήση movieclips είναι ότι μπορούμε να τα ελέγχουμε με ActionScript καθώς και ότι μπορούμε να αλλάξουμε τις διαστάσεις, τη θέση, το χρώμα, διαφάνεια και άλλες ιδιότητες τους.

Για να δούμε τα σύμβολα που έχουν χρησιμοποιηθεί στην εργασία καθώς και τον ρόλο τους.

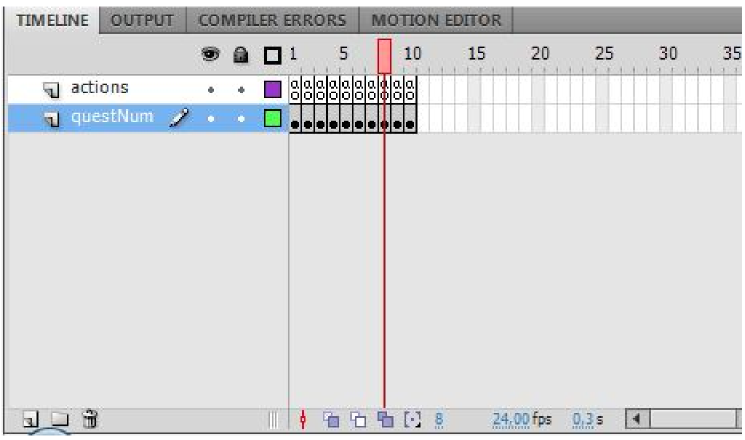
Το movieclip “QuestNumber” (Αριθμός ερώτησης):

Αυτό το movieclip τοποθετήθηκε πάνω αριστερά και ενημερώνει τον χρήστη σε ποια ερώτηση βρίσκεται. Να δούμε πώς φαίνεται το αντικείμενο *“QuestNumber”* μέσα στο Library (βιβλιοθήκη) που περιέχει όλα τα αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν:



Στο δεξιά μέρος της εικόνας, φαίνεται η γραμμή εργαλείων του Flash.

Το αντικείμενο *"QuestNumber"* είναι movieclip και ως movieclip, περιέχει το δικό του tomeline και movie.



Στο Layer, questNum, περιέχεται αυτό θα φαίνεται στο stage και δεν είναι άλλο από την υπόδειξη του αριθμού της ερώτησης που βρίσκεται κάθε φορά ο χρήστης.

Στο layer, actions, υπάρχει η εντολή

```
stop();
```

που στην ουσία δεν αφήνει την ταινία να «τρέξει» και την κρατάει σε εκείνο το frame.

Το movieclip *"QuestNumber"* καλείται σε κάθε frame της ταινίας ανάλογα τον αριθμό της ερώτησης που βρίσκεται, με την εντολή που είναι γραμμένη στα actions της ταινίας:

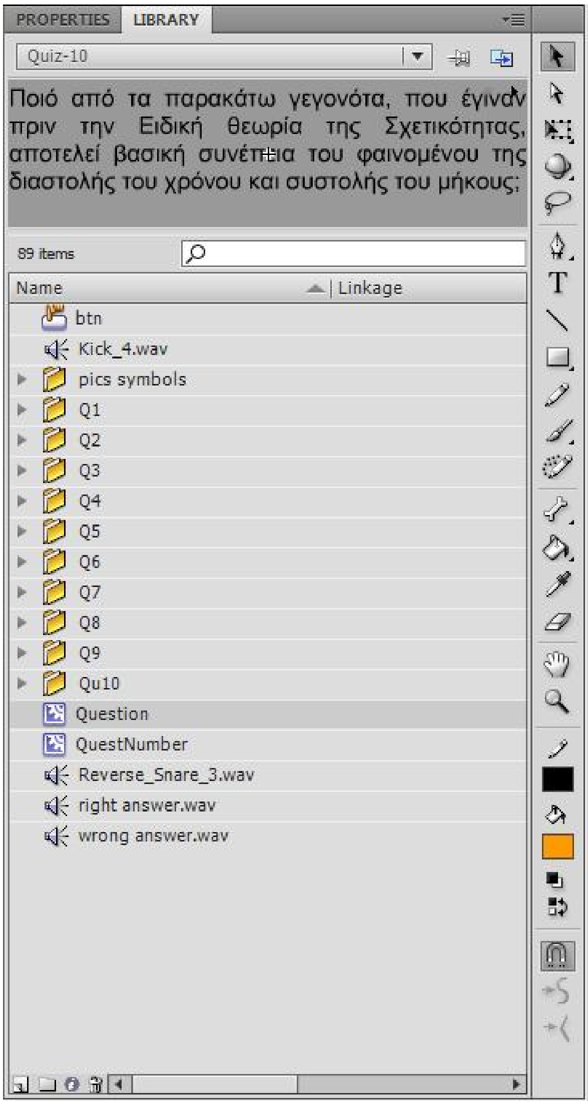
```
qNum.gotoAndPlay(3)
```

ο αριθμός που υπάρχει μέσα στην παρένθεση υποδηλώνει ποιο frame του αντικειμένου *"QuestNumber"* θέλουμε να τρέξει.

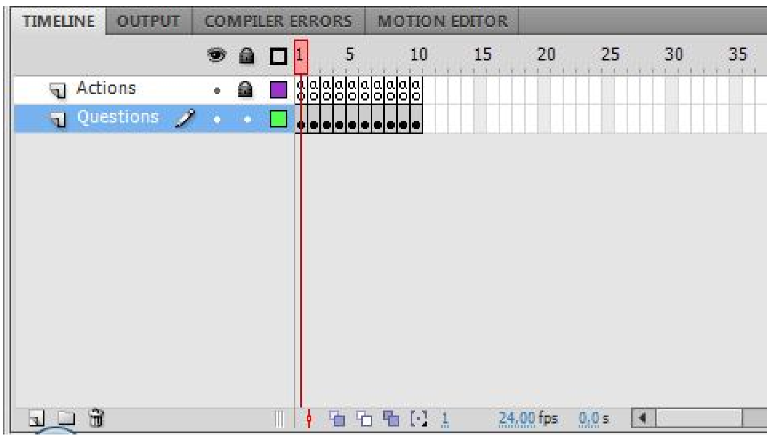
Το movieclip "Question" (ερώτηση):

Μέσα σε αυτό το movieclip περιέχονται όλες οι ερωτήσεις που υπάρχουν στο Quiz!

Να δούμε πώς φαίνεται μες την βιβλιοθήκη:



Όπως και στο προηγούμενο movieclip έχουμε εντάξει τις διαφορετικές ερωτήσεις, στα διαφορετικά εσωτερικά frames του movieclip:



Στο Layer, Questions, κάθε frame περιέχει και μία ερώτηση, διαφορετική κάθε φορά

και στο layer, actions, κάθε frame περιέχει την εντολή:

```
stop();
```

που όπως και πριν που δεν αφήνει την ταινία να «τρέξει» και την κρατάει σε εκείνο το frame.

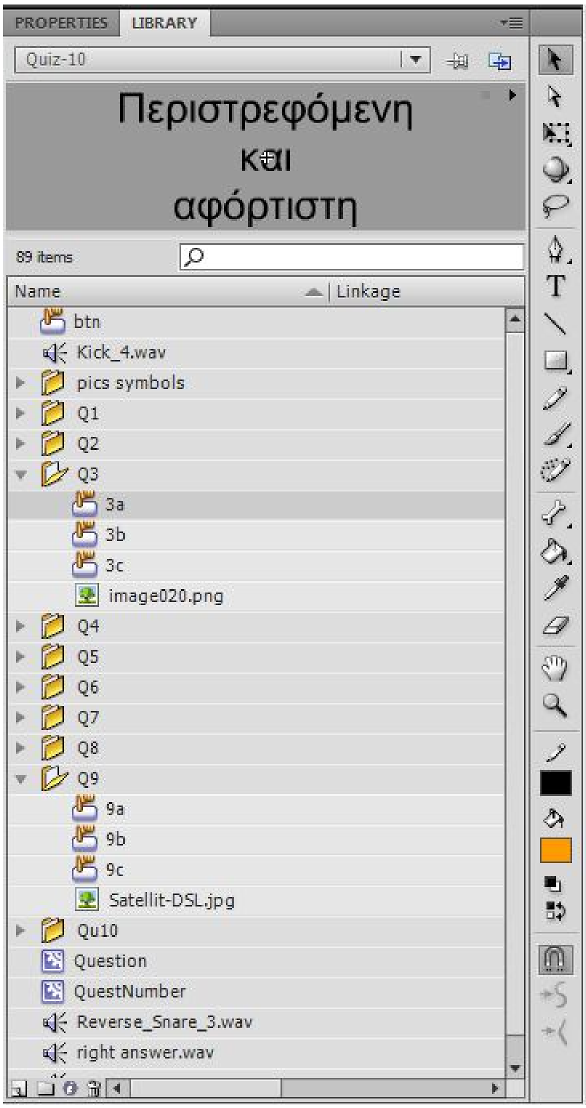
Το movieclip *"Question"* καλείται σε κάθε frame της ταινίας ανάλογα τον αριθμό της ερώτησης που βρίσκεται, με την εντολή που είναι γραμμένη στα actions της ταινίας:

```
question.gotoAndPlay(3)
```

ο αριθμός που υπάρχει μέσα στην παρένθεση υποδηλώνει ποιο frame του αντικειμένου *"Question"* θέλουμε να τρέξει.

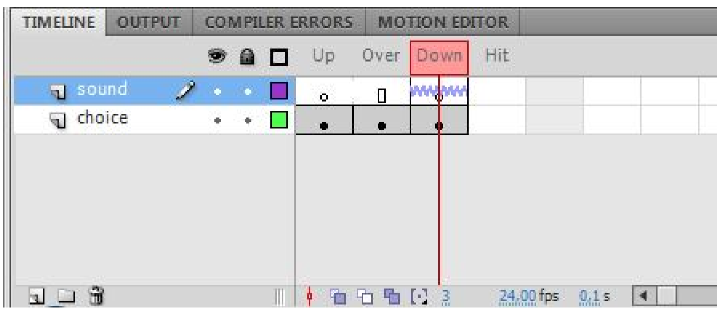
Τα buttons "Choices"

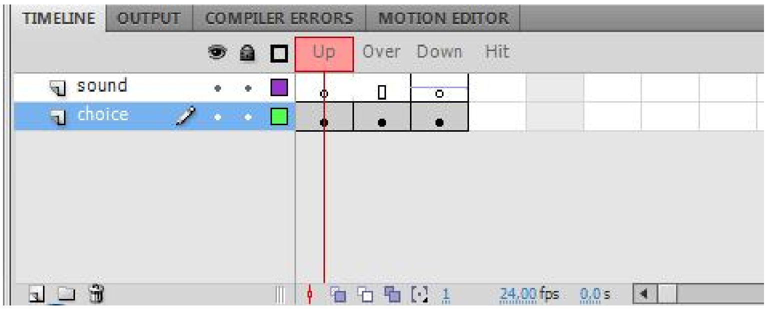
Τα κουμπιά αυτά, είναι όλες οι επιλογές που έχει να πατήσει ο χρήστης, σαν απάντηση στην κάθε ερώτηση. Η βιβλιοθήκη έχει οργανωθεί έτσι ώστε να μπορεί να βρει κάποιος εύκολα ποια αντικείμενα αντιστοιχούν στην κάθε ερώτηση. Έτσι υπάρχει ένας φάκελος για την κάθε ερώτηση, όπου μέσα υπάρχουν και αντίστοιχα buttons και φωτογραφίες.



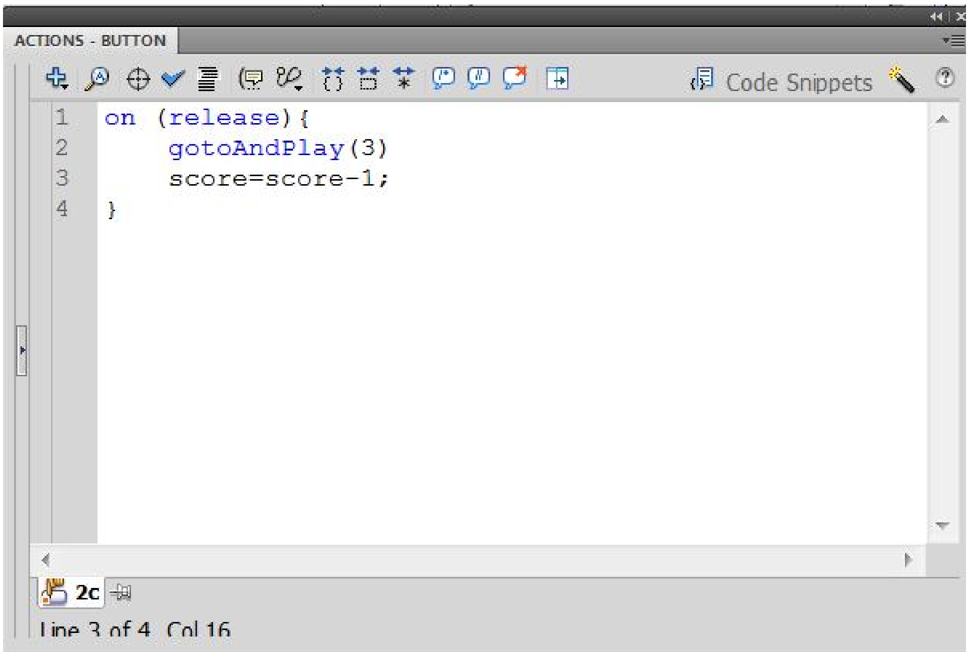
Υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη κουμπιών. Τα κουμπιά που αντιστοιχούν σε σωστή απάντηση και στα κουμπιά που αντιστοιχούν σε λάθος απάντηση. Η κύρια διαφορά τους, είναι ο διαφορετικός ήχος που έχει εγκατασταθεί αλλά και μια γραμμή στις εντολές τους.

Στο κάθε κουμπί έχει εγκατασταθεί ένα αρχείο ήχου όταν βρίσκεται στην κατάσταση “down”, διαφορετικό για τα σωστά από τα λάθος:





Επίσης, είπαμε ότι σε κάθε κουμπί αντιστοιχεί μια γραμμή εντολών:

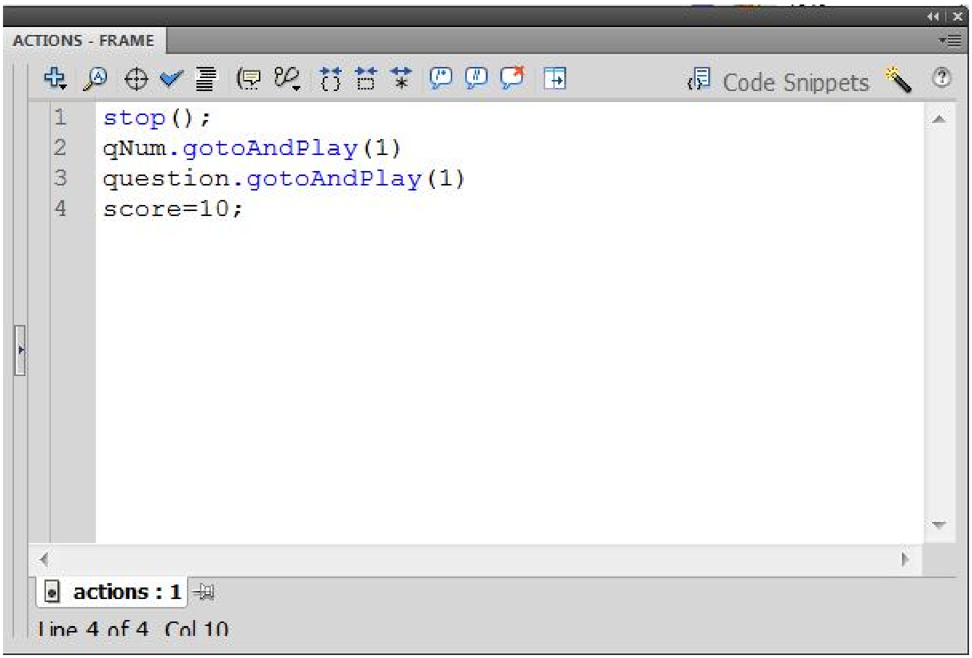


Η εικόνα από πάνω μας δείχνει τις εντολές που αντιστοιχούν σε ένα κουμπί που δίνει λάθος απάντηση. Θα εξηγήσουμε τις εντολές και θα καταλάβουμε γιατι..

Η εντολή “on(release)” μας δίνει την δυνατότητα να επιλέξουμε το τι μπορεί να κάνει το κουμπί όταν πατηθεί.

Στο συγκεκριμένο, το “gotoAndPlay(3)” δίνει εντολή να πάει να τρέξει το τρίτο frame της ταινίας του flash. Άρα καταλαβαίνουμε ότι αυτό το κουμπί ανήκει στην δεύτερη ερώτηση και αφού την απαντήσαμε θέλουμε να μας πάει στην επόμενη.

Το “score=score-1;” είναι μια εντολή που αφαιρεί κατά 1 την τιμή της παραμέτρου “score”. Να θυμήσουμε ότι η αρχική τιμή της παραμέτρου “score” έχει δοθεί στο πρώτο frame στο Layer actions της ταινίας:



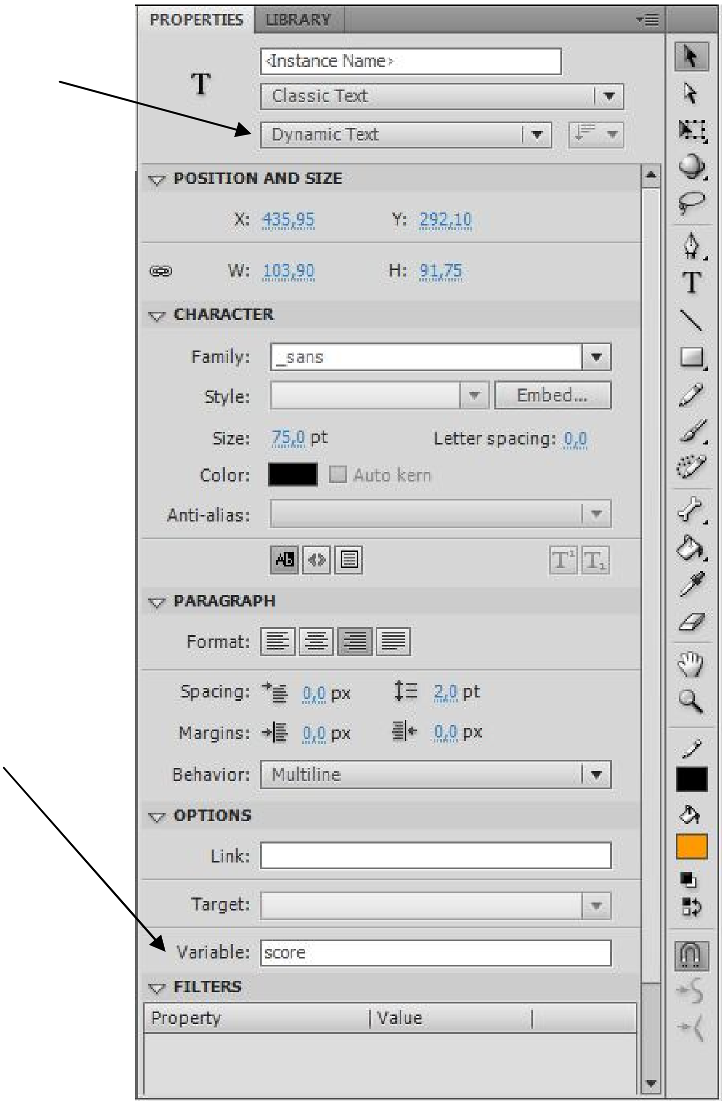
Άρα καταλαβαίνουμε ότι το κουμπί αυτό, αφού περιέχει την εντολή

“score=score-1;”

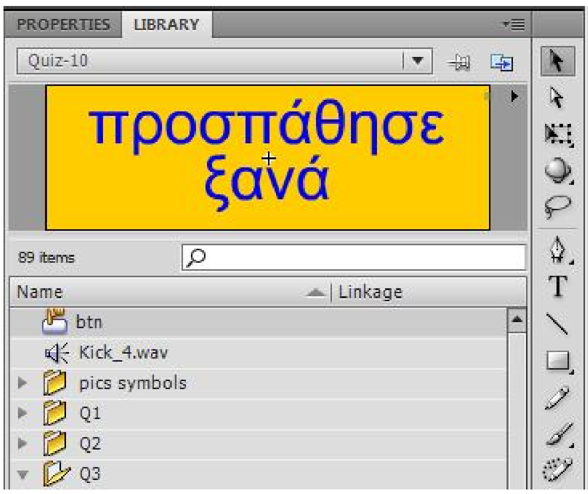
αντιστοιχεί σε ένα κουμπί που δίνει λάθος απάντηση.

Να σημειώσουμε ότι το αποτέλεσμα της τελικής τιμής της μεταβλητής “score” δίνεται στο τέλος του τεστ που αντιστοιχεί στο 11ο frame της ταινίας:

Βλέπουμε ότι, εκεί που θα γραφεί το αποτέλεσμα του τεστ, υπάρχει κενό, καθώς εκεί θα μπεί η τελική τιμή της μεταβλητής “score”. Οι ρυθμίσεις που πρέπει να κάνουμε στα properties για να πραγματοποιηθεί αυτό είναι να βάλουμε το κείμενο να είναι Dynamic Text και στο Variable να το συμπληρώσουμε με την μεταβλητή “score” :



Τέλος υπάρχει το κουμπί που παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να ξανακάνει το τεστ:



Σε αυτό το κουμπί προσθέτουμε τον κώδικα

όπου επανακινεί το τεστ, στην ουσία δίνει εντολή να τρέξει το πρώτο frame.

Joomla

1.Τι είναι το Joomla;

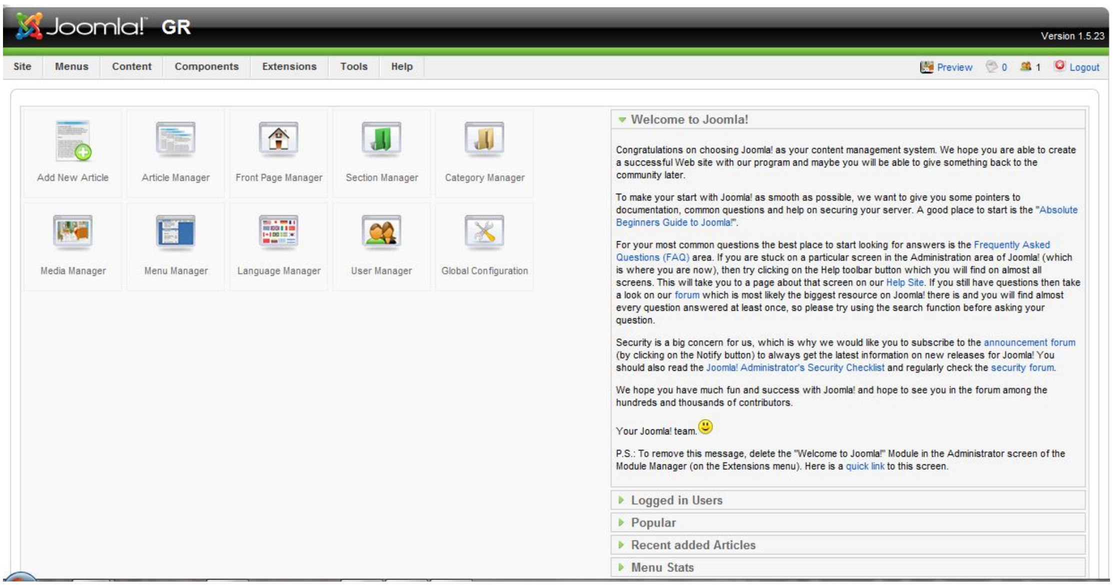
Πρώτα απ’ όλα, ας κατανοήσουμε τι είναι το Joomla. Το Joomla δεν είναι σχεδιαστής – δημιουργός ιστοσελίδων. Το Joomla είναι ένα Σύστημα Διαχείρισης Περιεχομένου, ή CMS (Content Management System). Για να το θέσουμε απλά, το Joomla οργανώνει μια ιστοσελίδα και καθιστά εύκολη την επεξεργασία του περιεχομένου της. Το Joomla δεν ειδικεύεται στην δημιουργία τα γραφικών ούτε στη σχεδίαση ενός προσωπικού layout. Ωστόσο, είναι πολύ εύχρηστο για την οργάνωση του περιεχόμενου της ιστοσελίδας αλλά και την διαχείρισή του από οποιοδήποτε υπολογιστή με σύνδεση στο internet.

Η βασική ιδέα του Joomla (ή οποιουδήποτε άλλου συστήματος διαχείρισης περιεχομένων CMS) είναι η εύκολη χρήση του από οποιονδήποτε, καθώς δεν χρειάζεται κάποιος να είναι ειδικός σε θέματα ιστοσελίδας και διαχείρισης server (διακομιστης), για να κρατάει ενήμερη την ιστοσελίδα του. Την προ-Joomla εποχή αν κάποιος μη ειδικός ήθελε να κάνει την οποιαδήποτε αλλαγή στην σελίδα του, χρειαζόταν να ζητήσει την βοήθεια από έναν ειδικό για web-sites. Φυσικά, υπάρχουν μερικά πράγματα που μπορεί να γίνουν μόνο από έναν web developer, αλλά, για απλούστερες εργασίες όπως η αλλαγή της διατύπωσης μιας παραγράφου ή η αντικατάσταση μιας φωτογραφίας με μια άλλη θα ήταν περιττό να ζητηθεί η βοήθεια από έναν προγραμματιστή.

Το Joomla λοιπόν, επιχειρεί να διαχωρίσει τις τεχνικές εργασίες από τις μη τεχνικές, παρέχοντας σε κάποιον μη ειδικό την δυνατότητα να διαχειρίζεται και να οργανώνει το περιεχόμενο μιας ιστοσελίδας. Παρέχει επίσης επιπρόσθετα εργαλεία, που βοηθούν στην λειτουργικότητα του site.

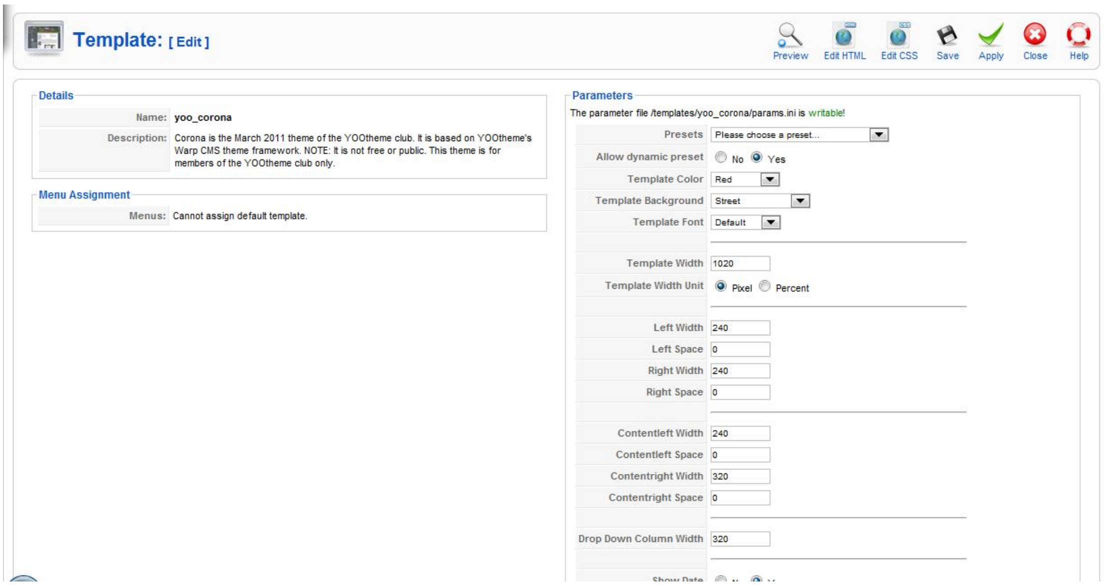
2.Ιεραρχία

Είπαμε ότι ο κύριος σκοπός του Joomla, είναι η εύκολη και γρήγορη διαχείριση του περιεχόμενου ενός σάιτ από οποιονδήποτε. Αυτό γίνεται μέσα από την εφαρμογή administrator. Το περιεχόμενο μίας ιστοσελίδας μπορεί να αποτελείται από διάφορα στοιχεία (πχ κείμενο και φωτογραφίες), αλλά τα κυρίως αναφερόμαστε σε άρθρα και σε επιλογές menu. Για την οργάνωση του περιεχομένου χρησιμοποιείται η ιεραρχία Ενότητες, Κατηγορίες και Άρθρα (Sections, Categories και Articles) και είναι παρόμοια με την ιεραρχία των directory folders και files που γνωρίζουμε από ένα τυπικό σύστημα αρχείων. Τα άρθρα είναι στην ουσία, οι “φορείς” του περιεχομένου του site. Όλα τα στοιχεία που συνθέτουν το περιεχόμενο είναι αποθηκευμένα σε μια βάση δεδομένων mySQL. Για να μπορέσει να κάνει οποιαδήποτε αλλαγή ή προσθήκη ο χρήστης, πρέπει να εισέλθει στο Joomla Administrator. Το Joomla Administrator είναι ένα γραφικό περιβάλλον που επιτρέπει την διαχείριση της ιστοσελίδας. Η παρακάτω φωτογραφία μας δείχνει ακριβώς αυτό.



3.Template

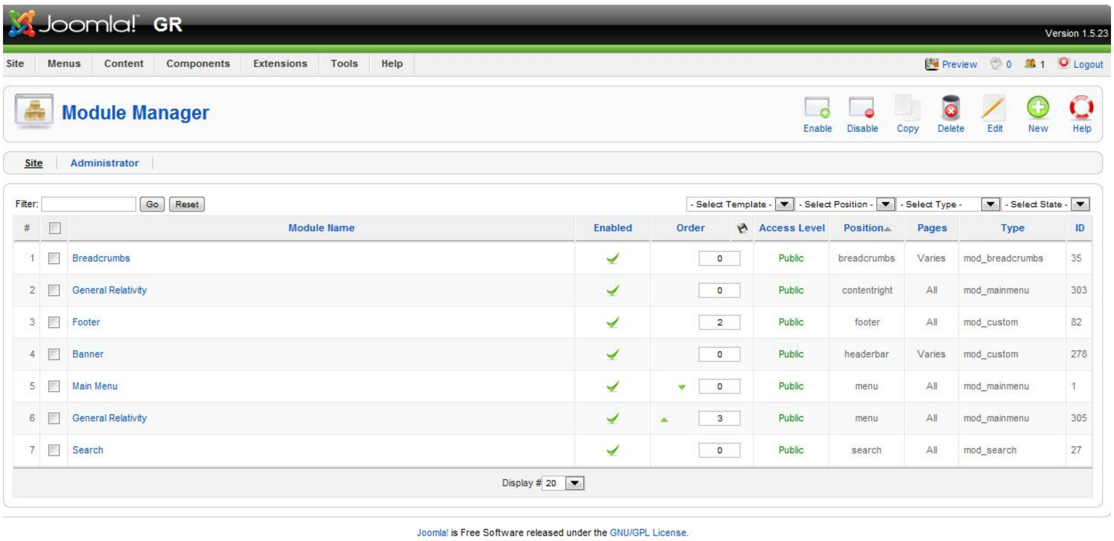
Για την ανάπτυξη της ιστοσελίδας, ωστόσο, μας ενδιαφέρει κυρίως το template. Η κάθε ιστοσελίδα πρέπει να έχει ένα τουλάχιστον template. Το template είναι στην ουσία η μορφή που θα έχει η ιστοσελίδα. Στο template αντιστοιχούν από ζητήματα δομής της σελίδας μέχρι εικαστικά ζητήματα, για παράδειγμα από τις θέσεις των menu και των άρθρων, μέχρι τα χρώματα που χρησιμοποιούνται. Σε κάθε template υπάρχουν διάφοροι παράμετροι που ο κάθε χρήστης μπορεί να αλλάξει σύμφωνα με τα γούστα του. Τέτοιοι παράμετροι μπορεί να είναι από τα χρώματα, μέχρι τις διαστάσεις κάποιων module. Ένα Joomla template είναι απλά μια τυπική σελίδα HTML. Αν κάποιος θέλει να έχει διαφορετικές διατάξεις και εμφάνιση σε διαφορετικές σελίδες του site, μπορεί να χρησιμοποιήσει πολλαπλά templates, διαφορετικά από σελίδα σε σελίδα.



4.Modules

Κάθε template έχει μια σειρά από θέσεις που μπορείς να προσθέσεις σε αυτές το περιεχόμενο του site, όπως κείμενο, φωτογραφίες, flash, menu κ.α. Αυτές οι θέσεις λέγονται modules και είναι στην ουσία μικρά παραθυράκια μέσα στην σελίδα. Υπάρχουν θέσεις module με διαφορετική ονομασία το κάθε ένα ανάλογα με την θέση του ή την χρησιμότητά του, για παράδειγμα 'top', 'bottom', 'left', 'right', 'banner', 'user1', 'user2', 'mainmenu', 'rightmenu' κ.τ.λ. Κάθε template παρέχει στον χρήστη διαφορετικές θέσεις module που μπορεί να εκμεταλλευτεί. Τελευταία έχει γίνει πολύ δημοφιλής ο σχεδιασμός template. Οι σχεδιαστές templates στην ουσία, πέρα από την εικαστική παρέμβαση που κάνουν, καθορίζουν το μέγεθος, το πλήθος και τις θέσεις που θέλουν να εμφανίζονται τα modules. Ο κάθε χρήστης, μπορεί να επιλέξει ποια modules θέλει να χρησιμοποιήσει και τα υπόλοιπα, πολύ απλά τα απενεργοποιεί.

Ένα βασικό πλεονέκτημα του Joomla, είναι ότι υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ελεύθερων και δωρεάν templates που είναι διαθέσιμα. Έτσι κάποιος μπορεί να οικοδομήσει την δικιά του ιστοσελίδα χωρίς να απευθυνθεί σε έναν σχεδιαστή template. Απλά εγκαθιστά το Joomla στον υπολογιστή του, βρίσκει το template που του αρέσει και ξεκάνει να φτιάχνει το site του χωρίς ακόμα να χρειάζεται να γνωρίζει HTML.



5.Content

Εκτός από τις θέσεις module, υπάρχει και το κύριο παράθυρο, όπου καταλαμβάνει συνήθως τον μεγαλύτερο χώρο στην σελίδα. Αυτός ο χώρος ονομάζεται content και εκεί εμφανίζονται τα ίδια τα άρθρα. Τα άρθρα είναι οι «φορείς του περιεχομένου». Έτσι λοιπόν, στο content εμφανίζεται το μεγαλύτερο μέρος από το περιεχόμενο της ιστοσελίδας. Συνήθως, τα modules τοποθετούνται γύρω από το κύριο παράθυρο και αυτό καταλαμβάνει μια θέση στη μέση της σελίδας. Φυσικά ο κάθε σχεδιαστής template μπορεί να το τοποθετήσει σύμφωνα με την βούλησή του.

6.Λειτουργία

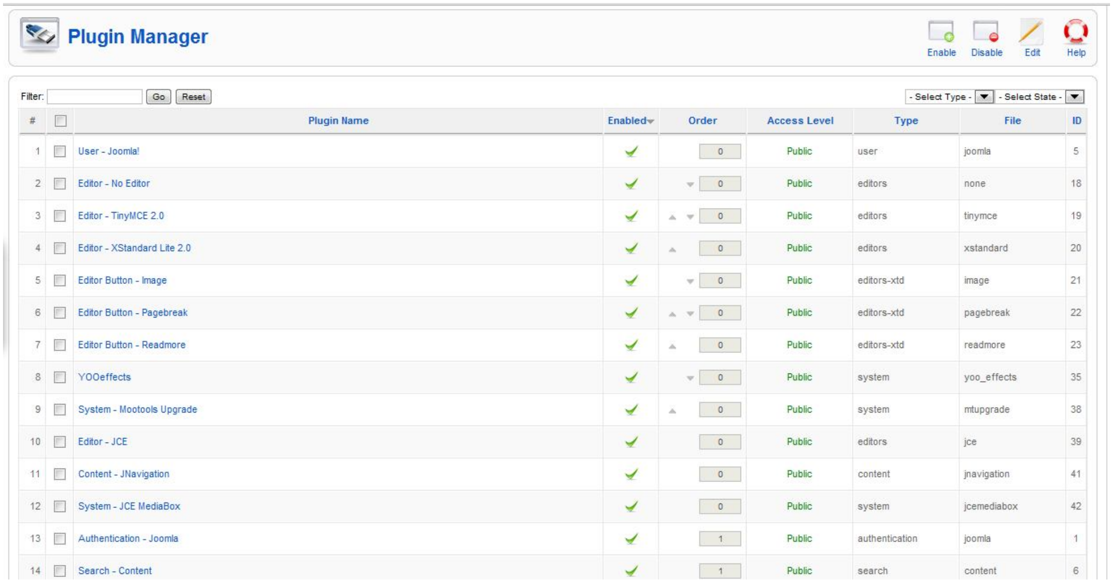
Για να δούμε πώς λειτουργεί όμως το Joomla. Ο πυρήνας του Joomla, κατά την διάρκεια της εκτέλεσης, παίρνει τα δεδομένα του περιεχομένου από τη βάση δεδομένων, τα συγχωνεύει στο αρχείο του template και το αποτέλεσμα είναι η ιστοσελίδα που προκύπτει. Να σημειώσουμε ότι το Joomla δεν δημιουργεί αρχεία κατά την διάρκεια τη εκτέλεσης, παράγει απλά την κατάλληλη HTML χρησιμοποιώντας PHP. Αυτή είναι ίσως μία μικρή υπεραπλούστευση, γιατί το Joomla administrator ζητάει σε κάποιο βαθμό από τον χρήστη να υπαγορεύει τη διάταξη της σελίδας.

7.Components

Ένα ακόμη στοιχείο του Joomla που το κάνει ακόμα πιο εύχρηστο, είναι τα components. Αυτά είναι πρόσθετες λειτουργίες, πιο συγκεκριμένα, πρόσθετα προγράμματα - εργαλεία, γραμμένα συνήθως σε PHP, τα οποία μπορούν να διαχειριστούν από τον χρήστη της σελίδας μέσα από το Joomla Administrator χωρίς να χρειάζεται κάποιο άλλο εργαλείο διαχείρισης. Αυτά τα προγράμματα έχουν σκοπό να επεκτείνουν τις δυνατότητες του Joomla και πολλές φορές να κάνουν το σύστημα διαχείρισης (Joomla Adminstrator) ακόμα πιο φιλικό προς τον χρήστη.

8.Plug-in

Υπάρχει άλλη μια κατηγορία επιπρόσθετων στοιχείων, τα λεγόμενα Plug-ins. Αυτά είναι προγράμματα που εφαρμόζονται πάνω στο περιεχόμενο και ταυτόχρονα γίνονται και μέρος του. Για παράδειγμα, το σύστημα πλοήγησης μιας ιστοσελίδας ή η προβολή φωτογραφιών και άλλα πολλά. Τα Plug-ins αποσκοπούν όχι μόνο στον καλλωπισμό μιας ιστοσελίδας αλλά και στην ευκολότερη χρήση της.



9.Πλεονεκτήματα του Joomla

1) **Η ελεύθερη χρήση**: Το Joomla είναι 100% δωρεάν. Το μόνο που χρειάζεται κανείς είναι ένας web hosting χώρος, και έχει τη δυνατότητα να το χρησιμοποιήσει.

2) **Η ευκολία στην χρήση**: Το Joomla είναι πολύ εύκολο στην χρήση και στην εκμάθηση. Υπάρχουν, εκατοντάδες Joomla forums, σεμινάρια και απεριόριστες πληροφορίες και απαντήσεις σε οποιαδήποτε απορία του χρήστη.

3) **Το πλήθος των template:** Ακόμα κι αν το Joomla δεν επιτρέπει την πολυτέλεια του σχεδιασμού ενός site, υπάρχουν εκατοντάδες χιλιάδες πρότυπα που είναι διαθέσιμα για το Joomla στο διαδίκτυο. Κυμαίνονται από πολύ απλή δομή έως πολύ σύνθετη. Υπάρχουν χιλιάδες διαφορετικά στυλ,

από την καλλιτεχνικά μέχρι την επαγγελματικά και από διασκεδαστικά μέχρι σοβαρά. Συχνά αυτά τα template είναι δωρεάν, ή κοστίζουν πολύ λιγότερο από ότι θα πλήρωνε κανείς για τον σχεδιασμό μίας ιστοσελίδας.

4) **Το πλήθος των Plug-in:** Ένα από τα ωραιότερα πράγματα στο Joomla είναι ότι υπάρχουν χιλιάδες και χιλιάδες plug-in σε επεκτάσεις που μπορεί ο καθένας να βρει στο διαδίκτυο. Αυτές οι επεκτάσεις είναι συχνά plug-and-play, δηλαδή, παίζουν αμέσως μετά την εγκατάσταση τους ή να απαιτούν ελάχιστες ρυθμίσεις. Το καλό είναι ότι συχνά αυτές τις επεκτάσεις είναι δωρεάν (ή κοστίζουν φθηνά) και υπάρχει μεγάλη ποικιλία προς τον χρήστη.

HTML

1.Τι είναι η HTML

Τα αρχικά **HTML** προέρχονται από τις λέξεις **HyperText Markup Language**. Η html δεν είναι μια γλώσσα προγραμματισμού. Είναι μια γλώσσα σήμανσης (*markup language*), δηλαδή ένας ειδικός τρόπος γραφής κειμένου. Ο καθένας μπορεί να δημιουργήσει ένα αρχείο HTML χρησιμοποιώντας απλώς έναν επεξεργαστή κειμένου. Αποτελεί υποσύνολο της γλώσσας SGML (Standard Generalized Markup Language) που επινοήθηκε από την IBM προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα της μη τυποποιημένης εμφάνισης κειμένων στα διάφορα υπολογιστικά συστήματα. Ο browser αναγνωρίζει αυτόν τον τρόπο γραφής και εκτελεί τις εντολές που περιέχονται σε αυτόν. Αξίζει να σημειωθεί ότι η html είναι η πρώτη και πιο διαδεδομένη γλώσσα περιγραφής της δομής μιας ιστοσελίδας. Η html χρησιμοποιεί τις ειδικές ετικέτες (τα tags) για να δώσει τις απαραίτητες οδηγίες στον browser. Τα tags είναι εντολές που συνήθως ορίζουν την αρχή ή το τέλος μιας λειτουργίας. Τα *tags* βρίσκονται πάντα μεταξύ των συμβόλων < και >. Π.χ. <BODY> Οι οδηγίες είναι case insensitive, δεν επηρεάζονται από το αν έχουν γραφτεί με πεζά (μικρά) ή κεφαλαία. Ένα αρχείο HTML πρέπει να έχει κατάληξη htm ή html. Ο αναγνώστης (browser) ιστοσελίδων διαβάζει/μεταφράζει τους κωδικούς του εγγράφου και εμφανίζει το έγγραφο ως WEB σελίδα. Η διαδικασία αυτή είναι ανεξάρτητη από την πλατφόρμα του υπολογιστή (UNIX, Windows ή Macintosh).

Τι είναι οι ετικέτες (tags)

Οι *ετικέτες* ελέγχουν τη δομή και την μορφή του κειμένου της ιστοσελίδας. Επίσης παρέχουν πληροφορίες προς τον web browser για την σελίδα που πρόκειται να εμφανίσουν, όπως ο τίτλος της σελίδας ή ο συγγραφέας της. Οι HTML *ετικέτες* γράφονται ανάμεσα στα σύμβολα **<** και **>**. *π.χ.* <όνομα-ετικέτας> Οι περισσότερες HTML ετικέτες αποτελούνται από μια *ετικέτα αρχής* και μια *ετικέτα τέλους* και ανάμεσα σε αυτές υπάρχει το κείμενο που χαρακτηρίζεται από τις ετικέτες αυτές.

Πώς λειτουργεί μια ετικέτα μέσα σε ένα HTML αρχείο ;

Ένα *ζευγάρι ετικετών* καθορίζει την μορφή ενός κειμένου ή μιας και μόνο λέξης. Για παράδειγμα αν θέλαμε να γράψουμε στην γλώσσα HTML το κείμενο 'Μαθαίνω HTML' με έντονη γραφή, θα το γράφαμε έτσι: Μαθαίνω HTML. Μόλις συναντήσαμε την πρώτη HTML ετικέτα. Το γράμμα ***b*** είναι το αρχικό από την λέξη ***b*old**. Το ζευγάρι των ετικετών ** και **, δηλώνει στον web browser ότι το κείμενο που είναι γραμμένο μεταξύ των ετικετών αυτών θα εμφανιστεί με έντονα (bold) γράμματα.

Αν πάλι θέλαμε να γράψουμε την λέξη black με πλάγιους χαρακτήρες θα γράφαμε:

<i>black</i>

Το ζευγάρι των ετικετών *<i>* και *</i>*, λέει στον browser να εμφανίσει το κείμενο που είναι γραμμένο ανάμεσα σε αυτές τις ετικέτες με πλάγιους χαρακτήρες. Το γράμμα ***i*** είναι το πρώτο γράμμα από την λέξη ***i*talics**. Οι ετικέτες μέσα σε ένα HTML αρχείο μπορούν να είναι γραμμένες είτε με μικρά γράμματα (πεζά), είτε με κεφαλαία. Η ετικέτα είναι ίδια με τη ετικέτα <B>. Μόνο πρέπει να προσέχουμε τις ετικέτες τέλους να είναι γραμμένες όπως οι ετικέτες αρχής. Δηλαδή αν μια ετικέτα αρχής είναι γραμμένη με πεζά τότε και η ετικέτα τέλους πρέπει να γραφεί με πεζά.

π.χ.

Λάθος τρόπος:

<B>black

Σωστός τρόπος:

<B>black</B>
ή
black__

2. Δομή της HTML

Ένα αρχείο HTML αρχίζει πάντα με την ετικέτα **<HTML>** και αποτελείται από δύο ενότητες: την κεφαλή (**HEAD**) και το κυρίως περιεχόμενο (**BODY**) ή αλλιώς το "σώμα" της σελίδας όπως συνήθως το αποκαλούμε.

```
<html>
<head>
<title>My first web site</title>
</head>

<body>
This is <b>Great</b>!!! <b>YEAH!!!</b><br>
I can build my own <i>web site</i>. <b>YEAH!!!</b><br>
<i>Hey Ma look!!!</i> I can do it by <b>myself</b>
</body>
</html>
```

Ενότητα head

Ενότητα body

Η ετικέτα <HTML>

Με την ετικέτα <HTML> αρχίζουμε πάντα τον κώδικά μας και με την ετικέτα *</HTML>* τον τερματίζουμε. Με αυτόν τον τρόπο πληροφορούμε ετικέτες είναι κώδικας γραμμένος σε γλώσσα HTML.

Η ενότητα HEAD

Η πρώτη ενότητα (ενότητα HEAD) μιας HTML σελίδας ορίζεται με τις ετικέτες:

<head>...</head>

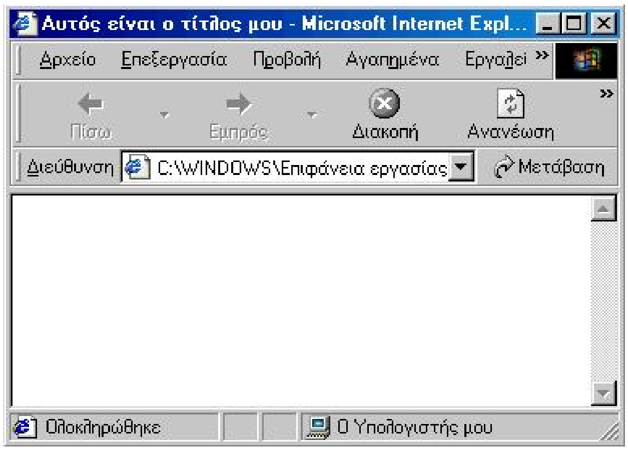
Οι ετικέτες που γράφονται στην ενότητα *HEAD*, αποτελούν τον πρόλογο για την HTML σελίδα. Υπάρχουν μόνο λίγες ετικέτες που γράφονται στην ενότητα αυτή. Η πιο βασική από αυτές είναι η ετικέτα **<TITLE>**, η οποία καθορίζει τον τίτλο της σελίδας ο οποίος εμφανίζεται στο πάνω μέρος του παραθύρου του web browser.

π.χ.

```
<html>
<head>
<title>

Αυτός είναι ο τίτλος μου

</title>
</head>
</html>
```



Μια άλλη ετικέτα της ενότητας HEAD είναι η ετικέτα **META**. Μια από τις λειτουργίες της ετικέτας αυτής είναι να ορίζει το σετ των χαρακτήρων που θα χρησιμοποιήσουμε στην σελίδα, δηλαδή εμείς που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε ελληνικά θα προσθέτουμε στην *κεφαλή* (<head>) των σελίδων μας την παρακάτω γραμμή:

π.χ.

<META content="text/html; charset=iso-8859-7">,

η οποία πληροφορεί τον browser ότι το περιεχόμενο της σελίδας είναι κώδικας HTML (*content="text/html*) και ότι το σετ των χαρακτήρων που χρησιμοποιούμε στην σελίδα είναι το iso-8859-7 (*charset=iso-8859-7*), το οποίο αντιστοιχεί στο ελληνικό σετ χαρακτήρων. Οι HTML ετικέτες που μπαίνουν στην ενότητα HEAD είναι οι παρακάτω:

<!--, <!DOCTYPE>, <LINK>, <META>, <SCRIPT>, <STYLE>, <TITLE>.

Ό,τι γράφουμε μέσα στην ενότητα HEAD δεν εμφανίζεται στην οθόνη του browser.

π.χ.

<meta name=keywords content= "ενδιαφέροντα, προσωπικά στοιχεία">

<meta name=description content="Ελάτε να με γνωρίσετε από κοντά">

Αυτά τα tags μπορούν να βρίσκονται οπουδήποτε μεταξύ των tags

<head> και </head>.

Η Ενότητα BODY

Η δεύτερη ενότητα (ενότητα body) ορίζεται με τις ετικέτες:

<body>...</body>.

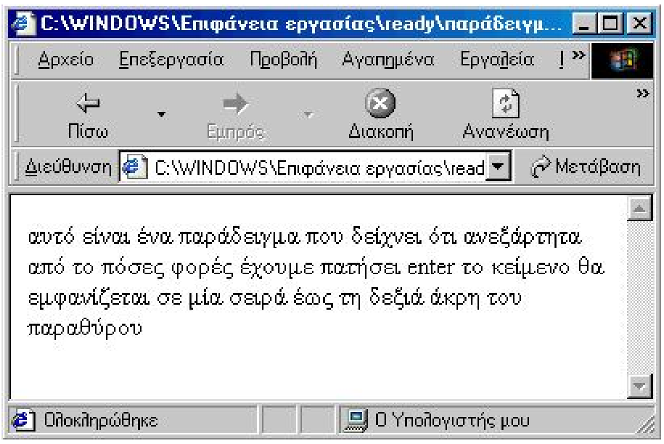
Το ζευγάρι των ετικετών <body> και </body> ορίζει το *κυρίως περιεχόμενο της σελίδας* μέσα στο οποίο γράφουμε το κείμενο που θέλουμε να εμφανιστεί μαζί με τις HTML ετικέτες που το μορφοποιούν. Στην ενότητα αυτή τοποθετούμε επίσης εικόνες, video και ό,τι άλλο θέλουμε να εμφανιστεί στην σελίδα. Οπότε, μια ενδεικτική ιστοσελίδα μπορεί να έχει στον κειμενογράφο την μορφή:

```
<html>
<body>

αυτό είναι ένα παράδειγμα που δείχνει ότι ανεξάρτητα από το πόσες φορές έχουμε πατήσει enter το κείμενο θα εμφανίζεται σε μία σειρά έως τη δεξιά άκρη του παραθύρου

</body>
</html>
```

Όταν θα δούμε την σελίδα μέσα από τον browser θα δούμε την παρακάτω εικόνα:



Καθορισμός περιθωρίων

Στο παράθυρο μπορούμε να ορίσουμε περιθώρια για πάνω και αριστερά. Αυτό σημαίνει ότι κείμενο και εικόνες δεν θα εμφανίζονται μέσα σε αυτό το περιθώριο. Η μέτρηση γίνεται σε pixels και τα tags τοποθετούνται σαν παράμετροι του body tag.

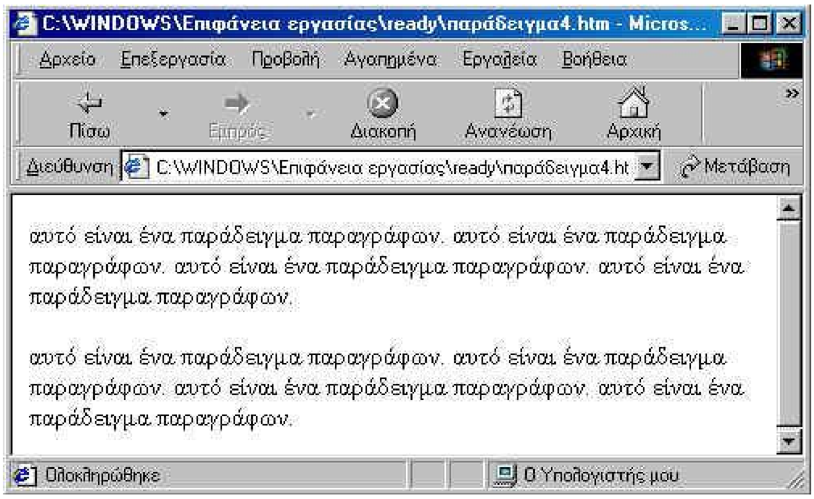
π.χ.

```
<html>
<body topmargin=20 leftmargin=25>
</body>
</html>
```

3.Μορφοποίηση κειμένου-Βασικές Ετικέτες

Παράγραφοι

Οι παράγραφοι ορίζονται από το ζευγάρι ετικετών **<p>** και **</p>**.



Πριν και μετά την παράγραφο εισάγεται αυτόματα στον browser μια κενή γραμμή.

Αλλαγή γραμμής

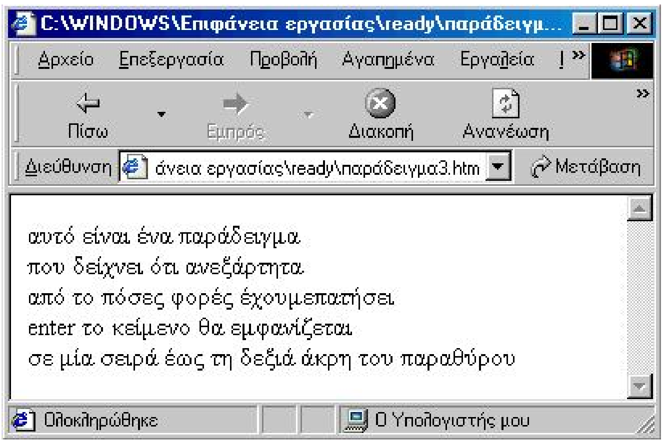
Η ετικέτα **
** χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να τελειώσουμε μια γραμμή κειμένου και να αρχίσουμε μια καινούργια.

π.χ.

<html>
<body>
αυτό είναι ένα παράδειγμα**
**
που δείχνει ότι ανεξάρτητα**
**
από το πόσες φορές έχουμε πατήσει**
**

enter το κείμενο θα εμφανίζεται**
**
σε μία σειρά έως τη δεξιά άκρη του παραθύρου**
**

</body>
</html>



Οριζόντια γραμμή

Σε πολλά web site το κείμενο χωρίζεται με οριζόντιες γραμμές. Για την εισαγωγή των οριζόντιων γραμμών εισάγουμε το tag **<hr**>. Μία νέα παράγραφος ξεκινάει αυτόματα μετά την γραμμή. Το tag <hr> περιλαμβάνει και παραμέτρους. Αυτές είναι: size (πάχος), width (πλάτος), color (χρώμα), και align (στοίχιση):

Size καθορίζει το πάχος της γραμμής σε pixels

Width καθορίζει το πλάτος σε ποσοστό της οθόνης.

Color καθορίζει το χρώμα της γραμμής με βάση τις τιμές RGB ή τις προκαθορισμένες τιμές.

Align καθορίζει την στοίχιση της γραμμής που μπορεί να είναι αριστερή, δεξιά ή κέντρο.

π.χ.

<html>
<head>
<title>οριζόντιες γραμμές
</title>
</head>
<body >
<basefont >

αυτό το κείμενο είναι πάνω από την πρώτη οριζόντια γραμμή

<hr size=2 width=75% color=red align=right>

αυτό το κείμενο είναι ανάμεσα στην πρώτη και την δεύτερη οριζόντια γραμμή

<hr size=4 width=50% color=black align=center>

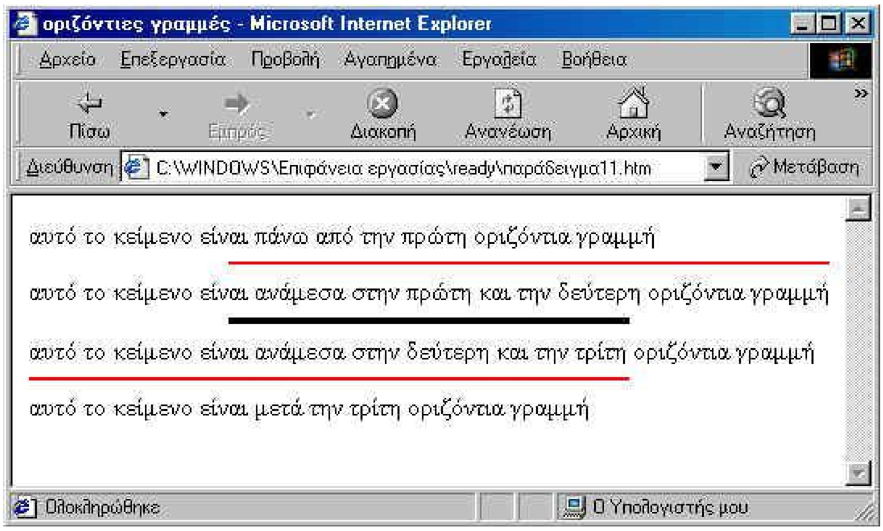
αυτό το κείμενο είναι ανάμεσα στην δεύτερη και την τρίτη οριζόντια γραμμή

<hr size=2 width=75% color=red align=left>

αυτό το κείμενο είναι μετά την τρίτη οριζόντια γραμμή

</body>
</html>

Ο παραπάνω κώδικας θα έχει το παρακάτω αποτέλεσμα στον browser:



Επικεφαλίδες

Οι επικεφαλίδες είναι πολύ χρήσιμες για την οργάνωση της πληροφορίας στις ιστοσελίδες. Η HTML προσφέρει έξι επίπεδα επικεφαλίδων που ορίζονται ως **<H1>**, **<H2>** κ.λπ. (με τους αντίστοιχους **</H1>**, **</H2>** κ.λπ.) όπου ο H1 είναι ο μεγαλύτερος. Η επικεφαλίδα εμφανίζεται με έντονα γράμματα και υπάρχει μια κενή γραμμή πάνω και κάτω από αυτή. Στο παρακάτω κείμενο μπορείτε να δείτε τα επίπεδα των επικεφαλίδων:

Επικεφαλίδα πρώτου επιπέδου
Επικεφαλίδα δεύτερου επιπέδου
Επικεφαλίδα τρίτου επιπέδου
Επικεφαλίδα τέταρτου επιπέδου
Επικεφαλίδα πέμπτου επιπέδου
Επικεφαλίδα έκτου επιπέδου

Οι επικεφαλίδες στοιχίζονται, εξ'ορισμού, αριστερά. Αλλά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το όρισμα ALIGN στον κωδικό επικεφαλίδας. Για παράδειγμα, γράφοντας:

<H3 ALIGN="RIGHT"> Δεξιά στοιχισμένη επικεφαλίδα**</H3>**

Κενά μεταξύ λέξεων

Ο αναγνώστης ιστοσελίδων αναδιπλώνει αυτόματα το κείμενο για να χωράει στην οθόνη. Αν θέλουμε ορισμένες λέξεις να εμφανίζονται στην ίδια γραμμή μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους κωδικούς **<NOBR>** και **</NOBR>**.

Ο αναγνώστης ιστοσελίδων δεν αναγνωρίζει επιπλέον κενά μεταξύ λέξεων. Η χρήση του κωδικού ** ** επιτρέπει ακριβώς αυτό. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για δημιουργία εσοχής στην αρχή της παραγράφου ή, ακόμα, στη θέση του κενού μεταξύ δύο λέξεων για να τις κρατήσει στην ίδια γραμμή (ο όρος NBSP σημαίνει no-break-space).

Σχόλια στην HTML

Τα σχόλια χρησιμοποιούνται για να γράφουμε σημειώσεις μέσα στον πηγαίο κώδικα. Δεν εμφανίζονται στην οθόνη του browser. Ένας λόγος για να χρησιμοποιήσουμε σχόλια μέσα σε ένα html αρχείο είναι να γράψουμε την ημερομηνία που δημιουργήσαμε το αρχείο. Ένα σχόλιο αρχίζει με το **<!--** και τελειώνει με το **-->**.

Τι ονομάζουμε Στοιχείο της Σελίδας

Στοιχείο μιας ιστοσελίδας ονομάζεται κάθε μέρος αυτής. Μια παράγραφος, μια εικόνα, μια λέξη του κειμένου που μορφοποιείται από μια ετικέτα, ένας πίνακας, ένα κελί του πίνακα, όλα αυτά ονομάζονται Στοιχεία της σελίδας.

4. Ιδιότητες Ετικετών

Οι *ιδιότητες* (attributes) των ετικετών είναι τιμές που δίνουν στην ετικέτα διάφορα χαρακτηριστικά. Κάθε μια από αυτές τις τιμές επιδρά διαφορετικά στην εμφάνιση ή την λειτουργία των ετικετών. Μια ιδιότητα μπαίνει αμέσως μετά το όνομα της ετικέτας και αποτελείται από το όνομά της και μια τιμή μέσα σε διπλά εισαγωγικά. Μια ετικέτα με ιδιότητες είναι της μορφής:

<όνομα-ετικέτας ιδιότητα1="τιμη" ιδιότητα2="τιμη" ιδιότητα3="τιμη">...</όνομα-ετικέτας>

Η ετικέτα <p>, για παράδειγμα, μπορεί να πάρει την ιδιότητα *align* η οποία ορίζει την στοίχιση του κειμένου μέσα στην παράγραφο. Η ιδιότητα *align* παίρνει μια από τις τιμές: *left*, *center*, *right*, *justify.*

π.χ.

<p align="center">Παράγραφος</p>
<p align="left">Παράγραφος</p>
<p align="right">Παράγραφος</p>
<p align="justify">Παράγραφος</p>

Κοινές ιδιότητες για όλες τις ετικέτες

Αν και για κάθε ετικέτα υπάρχει μια συγκεκριμένη λίστα διαθέσιμων ιδιοτήτων, υπάρχουν και κάποιες ιδιότητες που μπορούν να εφαρμοστούν σε όλες τις ετικέτες. Αυτές είναι οι παρακάτω :

Ιδιότητα	Τιμή	Περιγραφή	Εξαιρούνται οι ετικέτες
accesskey	χαρακτήρας	Ορίζει ένα χαρακτήρα του πληκτρολογίου με τον οποίο, όταν θα πατάμε, θα έχουμε άμεση προσπέλαση στο στοιχείο	
class	κανόνας μιας κλάσης ή όνομα της κλάσης	Ορίζει το στυλ του στοιχείου	<base>, <head>, <html>, <meta>, <param>, <script>, <style>, <title>
dir	ltr (=left to right) ή rtl (=right to left)	Ορίζει την κατεύθυνση του κειμένου. Η γραφή μερικών γλωσσών (κυρίως των ανατολικών χωρών) αποτυπώνεται από τα δεξιά προς τα αριστερά (ltr)	<base>, , <frame>, <frameset>, <hr>, <iframe>, <param>, <script>
id	όνομα id	ορίζει ένα μοναδικό όνομα (ταυτότητα) για ένα στοιχείο της σελίδας ώστε να μπορούμε να αναφερθούμε σε αυτό μέσα από ένα script (π.χ. JavaScript ή VBScript)	<base>, <head>, <html>, <meta>, <param>, <script>, <style>, <title>
lang	κωδικός της γλώσσας	Ορίζει τον κωδικό της γλώσσας (GR για τα ελληνικά, EN για τα αγγλικά, κτλ.)	<base>, , <frame>, <frameset>, <hr>, <iframe>, <param>, <script>
style	κανόνας style	ορίζει το στυλ του στοιχείου	<base>, <head>, <html>, <meta>, <param>, <script>, <style>, <title>
tabindex	αριθμός	ορίζει την σειρά tab των στοιχείων της σελίδας	
title	κείμενο	ορίζει το κείμενο του πλαισίου το οποίο εμφανίζεται όταν αφήνουμε τον δείκτη του ποντικιού μας επάνω στο στοιχείο (mouseover event)	<base>, <head>, <html>, <meta>, <param>, <script>, <style>, <title>

5. Διαμόρφωση κειμένου

Στην HTML υπάρχουν ετικέτες που ορίζουν την εμφάνιση του κειμένου. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες από αυτές τις ετικέτες.

Η ετικέτα b
Για να εφαρμόσουμε έντονα γράμματα ****.
Για να καταργήσουμε τα έντονα γράμματα ****.

Η ετικέτα u
Για να εφαρμόσουμε υπογράμμιση <**u>**. Για να καταργήσουμε την υπογράμμιση **</u>**.

Η ετικέτα tt
Το κείμενο εμφανίζεται σαν να έχει γραφεί σε γραφομηχανή. Για να εφαρμόσουμε στυλ γραφομηχανής **<tt>**. Για να καταργήσουμε το στυλ γραφομηχανής **</tt>**.

Η ετικέτα strike
Είναι η περίπτωση που το κείμενο έχει μία γραμμή έτσι. Για να εφαρμόσουμε διακριτή γραφή **<strike>**. Για να καταργήσουμε το στυλ γραφομηχανής **</strike>**.

Η ετικέτα sup
Κείμενο σε πιο ψηλή θέση σε σχέση με το υπόλοιπο κείμενο. Για να εφαρμόσουμε το στυλ εκθέτης **^{**. Για να καταργήσουμε το στυλ εκθέτης **}**.

Η ετικέτα sub
Κείμενο σε πιο χαμηλής θέση σε σχέση με το υπόλοιπο κείμενο. Για να εφαρμόσουμε το στυλ εκθέτης **_{**. Για να καταργήσουμε το στυλ εκθέτης **}**.

Η ετικέτα small
Κείμενο με μικρά γράμματα. Για να εφαρμόσουμε το στυλ μικρά γράμματα **<small>**. Για να καταργήσουμε το στυλ μικρά γράμματα **</small>**.

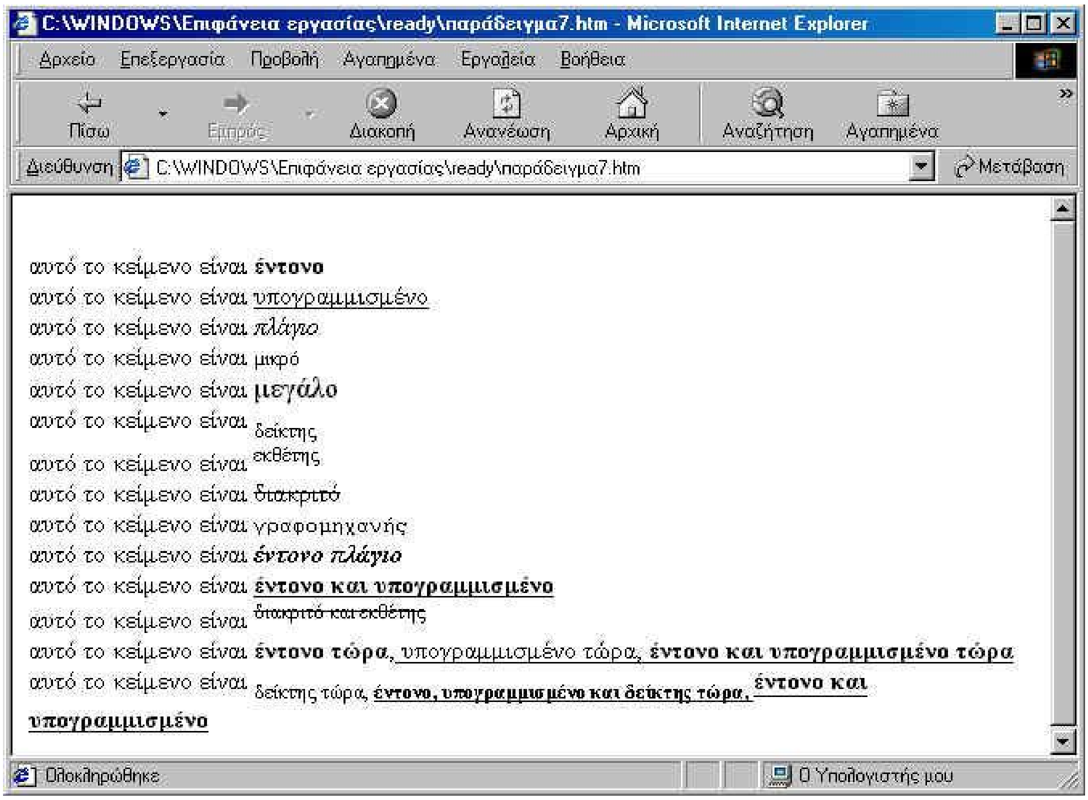
Η ετικέτα big
Κείμενο με μεγάλα γράμματα. Για να εφαρμόσουμε το στυλ μεγάλα γράμματα **<big>**. Για να καταργήσουμε το στυλ μεγάλα γράμματα **</big>**.

π.χ.

Κώδικας

```
<html>
<body>
<br>αυτό το κείμενο είναι <b>έντονο</b>
<br>αυτό το κείμενο είναι <u>υπογραμμισμένο</u>
<br>αυτό το κείμενο είναι <i>πλάγιο</i>
<br>αυτό το κείμενο είναι <small>μικρό</small>
<br>αυτό το κείμενο είναι <big>μεγάλο</big>
<br>αυτό το κείμενο είναι <sub>δείκτης</sub>
<br>αυτό το κείμενο είναι <sup>εκθέτης</sup>
<br>αυτό το κείμενο είναι <strike>διακριτό</strike>
<br>αυτό το κείμενο είναι <tt>γραφομηχανής</tt>
<br>αυτό το κείμενο είναι <b><i>έντονο πλάγιο</b></i>
<br>αυτό το κείμενο είναι <u><b>έντονο και υπογραμμισμένο</b></u>
<br>αυτό το κείμενο είναι <strike><sup>διακριτό και
εκθέτης</strike></sup>
<br>αυτό το κείμενο είναι <b>έντονο τώρα</b>,<u> υπογραμμισμένο
τώρα, <b> έντονο και υπογραμμισμένο τώρα</u></b>
<br>αυτό το κείμενο είναι <sub>δείκτης τώρα, <b><u>έντονο,
υπογραμμισμένο και δείκτης τώρα, </sub>έντονο και υπογραμμισμένο
</u></b>
</body>
</html>
```

Εμφάνιση



Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στη σελίδα μας οποιαδήποτε γραμματοσειρά έχουμε στον υπολογιστή μας. Αλλά πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι αν εκδώσουμε τη σελίδα στο www, είναι πιθανό αυτοί που θα επισκεφθούν την σελίδα μας να μην έχουν τη συγκεκριμένη γραμματοσειρά. Αν συμβεί αυτό τότε η σελίδα δεν θα παρουσιαστεί με τον τρόπο που θα θέλαμε.

Οι πιο συνηθισμένες γραμματοσειρές (που υπάρχουν σε όλους τους υπολογιστές) είναι οι Times New Roman και Arial. Άρα είναι σημαντικό να χρησιμοποιούμε αυτές τις γραμματοσειρές ώστε όλοι να βλέπουν την σελίδα μας όπως θα θέλαμε.

Μία άλλη μέθοδος που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι να ορίσουμε δύο ή περισσότερες γραμματοσειρές για τη σελίδα μας. Για παράδειγμα μπορούμε να ορίσουμε σαν πρώτη επιλογή την verdana, σαν δεύτερη την lucida casual και σαν τρίτη την times new roman.

Πάντα πρέπει να ορίζουμε σαν τελευταία επιλογή την times new roman ή τα arial ώστε αν ο επισκέπτης της σελίδας μας δεν έχει καμία από τις πρώτες επιλογές να μπορεί να δει σωστά τη σελίδα μας. Τα παρακάτω είναι παράμετροι του tag basefont: Face, Color, Size. Το Face σημαίνει γραμματοσειρά. Για να ορίσουμε τη γραμματοσειρά πληκτρολογούμε:

<basefont face="γραμματοσειρά">.

Για να ορίσουμε περισσότερες από μία γραμματοσειρά πληκτρολογούμε:

<basefont face= "γραμματοσειρά1", "γραμματοσειρά2", "

γραμματοσειρά3">.

Το size δηλώνει το μέγεθος της γραμματοσειράς και παίρνει τιμές από το 1 έως το 7, με το 3 να αντιστοιχεί στο συνηθισμένο μέγεθος. Για να ορίσουμε το μέγεθος πληκτρολογούμε:

<basefont size=3>.

Μπορούμε να εισάγουμε συνδυασμούς των παραπάνω παραμέτρων όπως:

<basefont face="lucida casual" size=5>.

Η ετικέτα font

Το tag font χρησιμοποιεί τις ίδιες παραμέτρους όπως το tag basefont. Έχει όμως μία βασική διαφορά στο ότι απαιτεί tag τέλους. Η χρήση του tag font είναι στο να αλλάζει τη γραμματοσειρά στη μέση του εγγράφου και μόνο για συγκεκριμένο διάστημα. Για να έχει αποτέλεσμα το tag font πρέπει να έχει τις παραμέτρους του στο tag αρχής.

π.χ.

 αυτό το κείμενο είναι σε verdana
Αν έχουμε ορίσει το basefont μέγεθος ίσο με 2 και θέλουμε να το αυξήσουμε σε 4 χρησιμοποιώντας το tag font τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την παρακάτω παράμετρο:
153
αυτό το κείμενο είναι 2 φορές μεγαλύτερο από το υπόλοιπο

Η ετικέτα <i>
Η ετικέτα <i> εμφανίζει το κείμενο με πλάγιους χαρακτήρες. Το *i* είναι το πρώτο γράμμα από την λέξη *italics.*
π.χ. <i>Αυτό το κείμενο είναι italic</i>

**Η ετικέτα **
Η ετικέτα εμφανίζει το κείμενο με πλάγιους και κάπως αχνά γραμμένους χαρακτήρες. Το *em* είναι τα δύο πρώτα γράμματα από την λέξη *emphasize*.
π.χ. Αυτό το κείμενο είναι emphasized

Θέση και Στοίχιση κειμένου

Υπάρχουν HTML ετικέτες με τις οποίες ορίζουμε την θέση και την στοίχιση του κειμένου μας. Η ετικέτα **<center>** εμφανίζει το κείμενο με στοίχιση στο κέντρο της οθόνης.

π.χ.
<center>Το κείμενο αυτό εμφανίζεται με στοίχιση στο κέντρο της οθόνης</center>

Η ετικέτα **<blockquote>** εμφανίζει το κείμενο αρχίζοντας από δεξιότερη εσοχή απ' ότι το υπόλοιπο κείμενο.

π.χ.
<blockquote>Το κείμενο αυτό εμφανίζεται στην οθόνη αρχίζοντας από δεξιότερη εσοχή απ' ότι το υπόλοιπο κείμενο</blockquote>

Η ετικέτα **<p>** ομαδοποιεί το κείμενο σε μια *παράγραφο*, αφήνοντας αυτόματα μια κενή γραμμή πριν την αρχή της παραγράφου και μια μετά το τέλος αυτής. Μια από τις ιδιότητες της ετικέτας <p> είναι και η *align* η οποία ορίζει την στοίχιση του κειμένου της παραγράφου.

Χρωματισμός

Η χρήση των *χρωμάτων* στις σελίδες μας τις κάνει πιο όμορφες και πιο ελκυστικές. Μπορούμε να βάλουμε χρώμα σε συνδέσμους, σε απλό κείμενο, σε ολόκληρο τον πίνακα ή σε ορισμένα κελιά αυτού. Μπορούμε επίσης να βάλουμε χρώμα στο φόντο όλης της σελίδας μας. Υπάρχουν δύο τρόποι για να καθορίσουμε χρώματα:

1. Χρησιμοποιώντας ένα όνομα χρώματος από ένα σύνολο 16 προκαθορισμένων ονομάτων.

2. Χρησιμοποιώντας το σύμβολο # ακολουθόμενο από έναν τριψήφιο δεκαεξαδικό αριθμό όπου κάθε ένα από τα τρία ψηφία είναι έναςδιψήφιος δεκαεξαδικός αριθμός (π.χ. #CC99FF,).

Ο κάθε ένας από τους τρεις διψήφιους δεκαεξαδικούς αριθμούς αντιπροσωπεύει την απόχρωση από τρία χρώματα: το Κόκκινο-**R**ed, το Πράσινο-**G**reen και το Μπλε-**B**lue και μπορεί να πάρει τιμές από 00 μέχρι FF. Το μοντέλο αυτό καθορισμού χρώματος λέγεται *RGB* (Red, Green, Blue).

Τον πρώτο τρόπο τον χρησιμοποιούμε κυρίως όταν θέλουμε ένα κύριο χρώμα και όχι μια απόχρωση. Υπάρχουν 16 κύρια χρώματα που μπορούμε να αναφερθούμε σε αυτά με τα όνοματά τους:

aqua	black	blue	fuchsia
green	gray	lime	maroon
navy	olive	purple	red
silver	teal	white	yellow

Αν και τα ονόματα των χρωμάτων είναι εύκολα να τα θυμόμαστε, η χρήση τους δεν είναι τόσο ευέλικτη. Ακόμα και για έναν μέτρια απαιτητικό σχεδιαστή σελίδων τα 16 κύρια χρώματα είναι πολύ λίγα για να δώσει στο site του το στυλ που θέλει. Έτσι θα διαπιστώσουμε και μόνοι μας ότι πολύ συχνά θα χρειάζεται να χρησιμοποιούμε αποχρώσεις των κύριων χρωμάτων κι έτσι θα καταφεύγουμε στο μοντέλο RGB που είναι πιο ευέλικτο. Τα περισσότερα προγράμματα επεξεργασίας HTML σελίδων, αλλά και όλα τα προγράμματα επεξεργασίας γραφικών, διαθέτουν έναν επιλογέα χρωμάτων με τον οποίο όταν επιλέγουμε το χρώμα (από μια παλέτα) που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε, εμφανίζει σε κάποιο σημείο την τιμή RGB την οποιά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στη σελίδα μας. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται μερικά χρώματα με το μοντέλο RGB.

#000000	#000033	#000066	#000099	#0000CC	#0000FF
#003300	#003333	#003366	#003399	#0033CC	#0033FF
#006600	#006633	#006666	#006699	#0066CC	#0066FF
#009900	#009933	#009966	#009999	#0099CC	#0099FF
#00CC00	#00CC33	#00CC66	#00CC99	#00CCCC	#00CCFF
#00FF00	#00FF33	#00FF66	#00FF99	#00FFCC	#00FFFF
#330000	#330033	#330066	#330099	#3300CC	#3300FF
#333300	#333333	#333366	#333399	#3333CC	#3333FF
#336600	#336633	#336666	#336699	#3366CC	#3366FF
#339900	#339933	#339966	#339999	#3399CC	#3399FF
#33CC00	#33CC33	#33CC66	#33CC99	#33CCCC	#33CCFF
#33FF00	#33FF33	#33FF66	#33FF99	#33FFCC	#33FFFF
#660000	#660033	#660066	#660099	#6600CC	#6600FF
#663300	#663333	#663366	#663399	#6633CC	#6633FF
#666600	#666633	#666666	#666699	#6666CC	#6666FF
#669900	#669933	#669966	#669999	#6699CC	#6699FF

#66CC00	#66CC33	#66CC66	#66CC99	#66CCCC	#66CCFF
#66FF00	#66FF33	#66FF66	#66FF99	#66FFCC	#66FFFF
#990000	#990033	#990066	#990099	#9900CC	#9900FF
#993300	#993333	#993366	#993399	#9933CC	#9933FF
#996600	#996633	#996666	#996699	#9966CC	#9966FF
#999900	#999933	#999966	#999999	#9999CC	#9999FF
#99CC00	#99CC33	#99CC66	#99CC99	#99CCCC	#99CCFF
#99FF00	#99FF33	#99FF66	#99FF99	#99FFCC	#99FFFF
#CC0000	#CC0033	#CC0066	#CC0099	#CC00CC	#CC00FF
#CC3300	#CC3333	#CC3366	#CC3399	#CC33CC	#CC33FF
#CC6600	#CC6633	#CC6666	#CC6699	#CC66CC	#CC66FF
#CC9900	#CC9933	#CC9966	#CC9999	#CC99CC	#CC99FF
#CCCC00	#CCCC33	#CCCC66	#CCCC99	#CCCCCC	#CCCCFF
#CCFF00	#CCFF33	#CCFF66	#CCFF99	#CCFFCC	#CCFFFF
#FF0000	#FF0033	#FF0066	#FF0099	#FF00CC	#FF00FF
#FF3300	#FF3333	#FF3366	#FF3399	#FF33CC	#FF33FF
#FF6600	#FF6633	#FF6666	#FF6699	#FF66CC	#FF66FF
#FF9900	#FF9933	#FF9966	#FF9999	#FF99CC	#FF99FF
#FFCC00	#FFCC33	#FFCC66	#FFCC99	#FFCCCC	#FFCCFF
#FFFF00	#FFFF33	#FFFF66	#FFFF99	#FFFFCC	

Αλλαγή χρώματος του φόντου της σελίδας

Η ετικέτα <body> περιλαμβάνει την ιδιότητα ***bgcolor*** με την οποία ορίζουμε το χρώμα του φόντου όλης της σελίδας.

π.χ.

Κώδικας

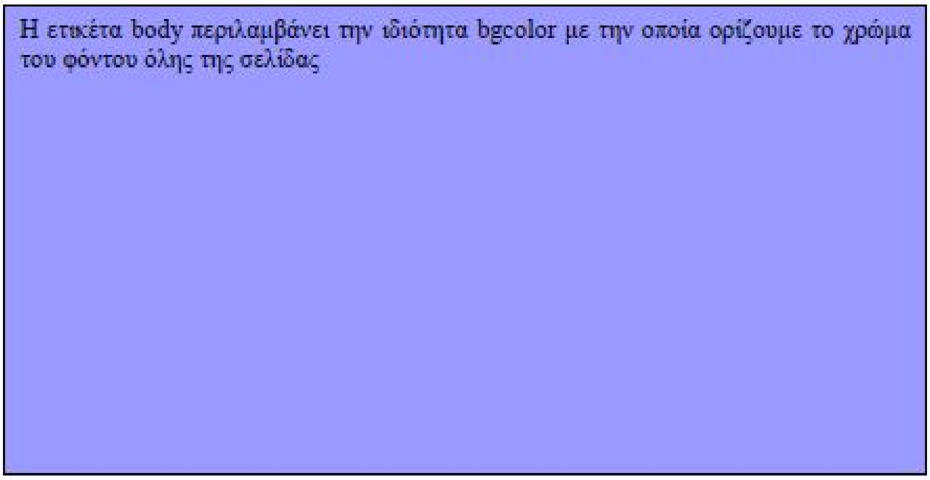
<html>
<head>

```
<title>Αλλαγή του χρώματος φόντου της σελίδας</title>
<META content="text/html; charset=iso-8859-7" />
</head>
<body bgcolor="#9999FF">

Η ετικέτα body περιλαμβάνει την ιδιότητα bgcolor με την οποία ορίζουμε το χρώμα
του φόντου όλης της σελίδας

</body>
</html>
```

Εμφάνιση



Αλλαγή χρώματος του κειμένου

Η ετικέτα <font> περιλαμβάνει την ιδιότητα ***color*** με την οποία ορίζουμε το χρώμα του κειμένου.

π.χ.

Κώδικας

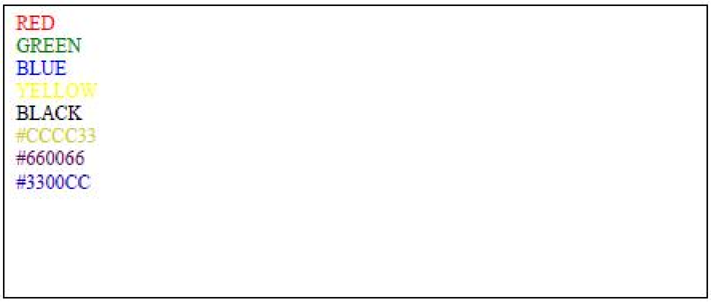
```
<html>
<head>
<title>Αλλαγή του χρώματος του κειμένου</title>
<META content="text/html; charset=iso-8859-7" />
</head>
<body>
<font color="red">RED</font> <br />
<font color="green">GREEN</font> <br />
<font color="blue">BLUE</font> <br />
<font color="yellow">YELLOW</font> <br />
<font color="black">BLACK</font> <br />
```

```
<font color="#CCCC33">#CCCC33</font> <br />
<font color="#660066">#660066</font> <br />
<font color="#3300CC">#3300CC</font>
```

Η ετικέτα body περιλαμβάνει την ιδιότητα bgcolor με την οποία ορίζουμε το χρώμα του φόντου όλης της σελίδας.

```
</body>
</html>
```

Εμφάνιση



Αλλαγή χρώματος του κειμένου σε όλη τη σελίδα

Η ετικέτα <body> περιλαμβάνει την ιδιότητα ***text*** με την οποία ορίζουμε το χρώμα του κειμένου για όλη την σελίδα.

π.χ.

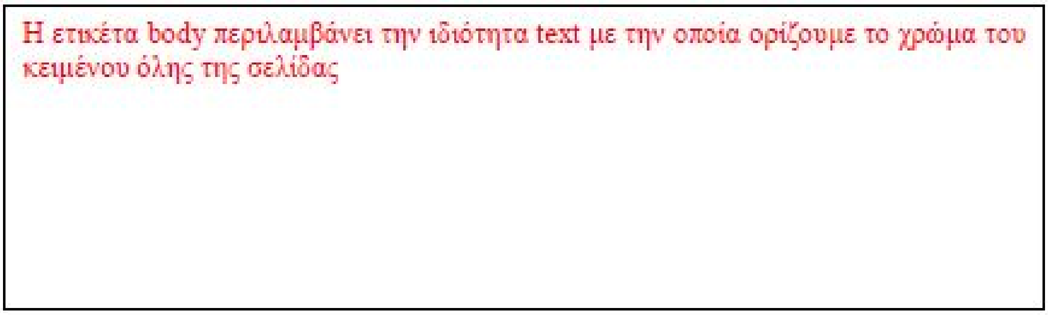
Κώδικας

```
<html>
<head>
<title>Αλλαγή του χρώματος του κειμένου για όλη την σελίδα</title>
<META content="text/html; charset=iso-8859-7" />
</head>
<body text="red">
```

Η ετικέτα body περιλαμβάνει την ιδιότητα text με την οποία ορίζουμε το χρώμα του κειμένου όλης της σελίδας

```
</body>
</html>
```

Εμφάνιση



6. Λίστες

Διατεταγμένη λίστα

Η ετικέτα **<ul>** εισάγει μια μη αριθμημένη(διατεταγμένη) λίστα στην σελίδα μας. Το *ul* είναι τα δύο πρώτα γράμματα από το *Unordered List*. Η ετικέτα **<li>** προσθέτει γραμμές στην λίστα. Η ιδιότητα ***type*** της ετικέτας <ul> ορίζει το σύμβολο που μπαίνει μπροστά από κάθε γραμμή της λίστας. Οι τιμές που παίρνει η ιδιότητα *type* είναι οι εξής: *disc*, *circle*, *square.*

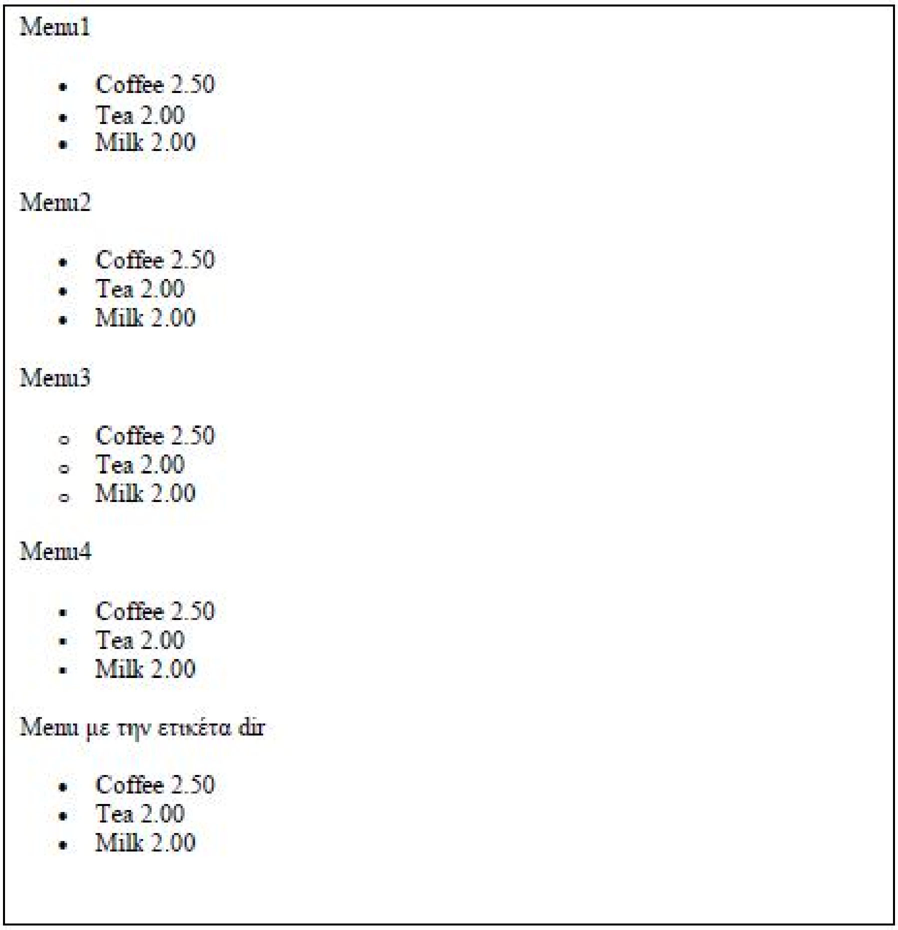
π.χ.

Κώδικας

```
<html>
<head>
<title>Μη αριθμημένη λίστα</title>
<META content="text/html; charset=iso-8859-7" />
</head>
<body>
<p>
Menu1
<ul>
<li>Coffee 2.50</li>
<li>Tea 2.00</li>
<li>Milk 2.00</li>
</ul>
</p>
<p>
Menu2
<ul type="disc">
<li>Coffee 2.50</li>
<li>Tea 2.00</li>
<li>Milk 2.00</li>
```

```
</ul>
</p>
<p>
Menu3
<ul type="circle">
<li>Coffee 2.50</li>
<li>Tea 2.00</li>
<li>Milk 2.00</li>
</ul>
</p>
<p>
Menu4
<ul type="square">
<li>Coffee 2.50</li>
<li>Tea 2.00</li>
<li>Milk 2.00</li>
</ul>
</p>
<p>
Menu με την ετικέτα dir
<dir>
163
<li>Coffee 2.50</li>
<li>Tea 2.00</li>
<li>Milk 2.00</li>
</dir>
</p>
</body>
</html>
```

Εμφάνιση


Menu1

- Coffee 2.50
- Tea 2.00
- Milk 2.00

Menu2

- Coffee 2.50
- Tea 2.00
- Milk 2.00

Menu3

- Coffee 2.50
- Tea 2.00
- Milk 2.00

Menu4

- Coffee 2.50
- Tea 2.00
- Milk 2.00

Menu με την ετικέτα dir

- Coffee 2.50
- Tea 2.00
- Milk 2.00

Αριθμημένη λίστα

Η ετικέτα **<ol>** εισάγει μια αριθμημένη λίστα στην σελίδα μας. Το *ol* είναι τα δύο πρώτα γράμματα από το *Ordered List*. Η ιδιότητα *type* της ετικέτας <ol> ορίζει τον τύπο της ταξινόμησης. Οι τιμές που παίρνει η ιδιότητα *type* είναι οι εξής: *A*, *a*, *I*, *i.*

π.χ.

Κώδικας

```
<html>
<head>
<title>Αριθμημένη λίστα</title>
<META content="text/html; charset=iso-8859-7" />
</head>
<body>
<p>
Menu1
<ol>
<li>Coffee</li>
<li>Tea</li>
```

```
<li>Milk</li>
</ol>
</p>
<p>
Menu2
<ol type="A">
<li>Coffee</li>
<li>Tea</li>
<li>Milk</li>
</ol>
</p>
<p>
Menu3
<ol type="a">
<li>Coffee</li>
<li>Tea</li>
<li>Milk</li>
</ol>
</p>
<p>
Menu4
<ol type="I">
<li>Coffee</li>
<li>Tea</li>
<li>Milk</li>
</ol>
</p>
<p>
Menu5
<ol type="i">
<li>Coffee</li>
<li>Tea</li>
<li>Milk</li>
</ol>
</p>
</body>
</html>
```

Εμφάνιση

Menu1

1. Coffee
2. Tea
3. Milk

Menu2

A. Coffee
B. Tea
C. Milk

Menu3

a. Coffee
b. Tea
c. Milk

Menu4

I. Coffee
II. Tea
III. Milk

Menu5

i. Coffee
ii. Tea
iii. Milk

Λίστα ορισμού

Η ετικέτα **<dl>** εισάγει μια λίστα ορισμών στην σελίδα μας. Το *dl* είναι τα δύο πρώτα γράμματα από το *Definition List*. Η ετικέτα **<dt>** ορίζει τον περιγραφικό τίτλο των γραμμών που ακολουθούν, οι οποίες γραμμές ορίζονται από την ετικέτα **<dd>**.

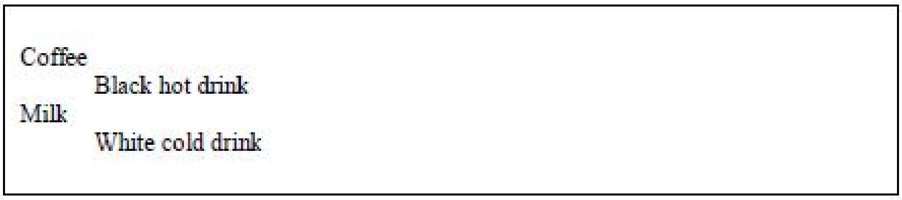
π.χ.

Κώδικας

```
<html>
<head>
<title>Λίστα ορισμών</title>
<META content="text/html; charset=iso-8859-7" />
</head>
<body>
<dl>
<dt>Coffee</dt>
<dd>Black hot drink</dd>
```

```
<dt>Milk</dt>
<dd>White cold drink</dd>
</dl>
</body>
</html>
```

Εμφάνιση



7. Εισαγωγή εικόνας

Με την ετικέτα **<img>** εισάγουμε μια εικόνα στην σελίδα μας. Η ετικέτα <img> δεν έχει ετικέτα τέλους, οπότε βάζουμε τον χαρακτήρα / πριν τον χαρακτήρα >.

π.χ.

Με τον παραπάνω κώδικα προσθέτουμε στην σελίδα μας την εικόνα με όνομα bird.jpg, η οποία έχει μήκος 100 pixels και ύψος 30 pixels και το περίγραμμα της έχει πάχος 2 pixel.

Η ιδιότητα alt
Υπάρχουν ορισμένοι browsers που δεν υποστηρίζουν την εμφάνιση γραφικών με αποτέλεσμα να μην εμφανίζονται οι εικόνες που τοποθετούμε στις σελίδες μας. Η χρήση της ιδιότητας ***alt*** έχει σαν αποτέλεσμα σε έναν τέτοιο browser να εμφανίζετε αντί της εικόνας, το κείμενο το οποίο ορίζεται με την ιδιότητα. Συνήθως το κείμενο αυτό περιγράφει την εικόνα έτσι ώστε ο χρήστης που δεν μπορεί να την δει, να πάρει μια ιδέα για το τι απεικονίζετε σε αυτήν. Το *alt* είναι τα τρία πρώτα γράμματα από την λέξη *alternative.*

π.χ.

Διαστάσεις της εικόνας
Οι ετικέτες ***width*** και ***height*** ορίζουν τις διαστάσεις της εικόνας σε

pixels. Το συνηθέστερο είναι να γράφουμε τις πραγματικές διαστάσεις της εικόνας. Ορισμένες φορές όμως θέλουμε να εμφανίσουμε την εικόνα με μικρότερες ή μεγαλύτερες από τις κανονικές διαστάσεις προσαρμόζοντας ανάλογα τις ιδιότητες *width* και *height*. Βέβαια αν οι διαστάσεις που ορίζουμε απέχουν πολύ από τις πραγματικές διαστάσεις της εικόνας, τότε αυτή εμφανίζεται αλλοιωμένη. Γι'αυτό είναι προτιμότερο να μικραίνουμε ή να μεγαλώνουμε την εικόνα μέσα σε κάποιο πακέτο επεξεργασίας γραφικών γιατί εκεί χρησιμοποιούνται ειδικές συναρτήσεις που αλλάζουν το μέγεθος της εικόνας χωρίς να την αλλοιώνουν.

π.χ.

**

Η ιδιότητα align
Καθορίζει την στοίχιση της εικόνας με το κείμενο που είναι δίπλα σε αυτήν. Οι τιμές που μπορεί να πάρει είναι οι εξής: *baseline, top, middle, bottom, absmiddle, absbottom, left, right.*
π.χ.

**

Περίγραμμα στις εικόνες
Στις εικόνες έχουμε δυνατότητα να βάλουμε περίγραμμα, του οποίου το πάχος το ορίζουμε με την ιδιότητα *border.*
π.χ.

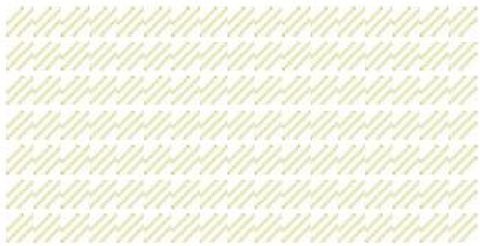
<img src="/bird.jpg" width="100" height="30" ***border="2"***
alt="χρωματιστός παπαγάλος" />

Οι εικόνες σαν φόντο
Εικόνες μπορούμε να βάλουμε και σαν φόντο σε διάφορα στοιχεία της σελίδας μας, όπως σε ολόκληρο πίνακα, σε μια γραμμή ενός πίνακα, σε ένα κελί ενός πίνακα, αλλά και σε ολόκληρη την σελίδα μας. Όταν μια εικόνα τοποθετείται σαν φόντο σε οποιοδήποτε στοιχείο, τότε αυτή επαναλαμβάνεται για όλο το μέγεθος του στοιχείου.

π.χ.

Συνήθως για φόντο χρησιμοποιούμε πολύ μικρά εικονίδια τα οποία όταν επαναλαμβάνονται δείχνουν σαν μια μεγάλη και ενιαία εικόνα, όπως το παρακάτω εικονίδιο το οποίο έχει μέγεθος 15X15:

Δείτε την εικόνα αυτή σαν φόντο στο κελί ενός πίνακα:



Αυτά τα εικονίδια λέγονται *textures* και υπάρχουν άπειρα και πολύ όμορφα στο Internet τα οποία μπορούμε να κατεβάσουμε και να χρησιμοποιήσουμε στις δικές μας σελίδες.

Η ιδιότητα background της ετικέτας <body> ορίζει την εικόνα που θα τοποθετηθεί στο φόντο της σελίδας μας.

8. Σύνδεσμοι και Δεσμοί

Η γενική μορφή του κωδικού για σύνδεση είναι:

<A HREF=" ">...</A>

όπου τα ... μπορεί να είναι κείμενο ή εικόνα και μέσα στα εισαγωγικά βάζουμε τη "δεύθυνση" της σύνδεσης που θέλουμε να καταλήξει ο χρήστης αν κάνει με το ποντίκι του κλικ σε οποιοδήποτε σημείο του κειμένου ή της εικόνας που βρίσκεται ανάμεσα στον κωδικό.

Διασύνδεση μιας σελίδας με άλλες σελίδες στο Web

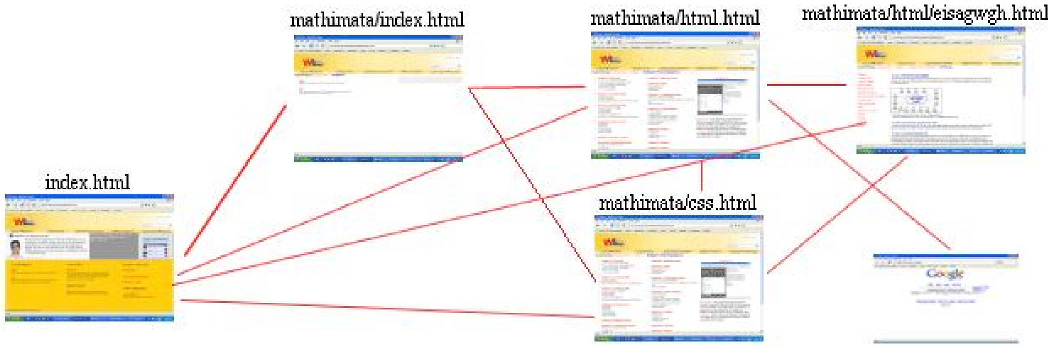
Μπορούμε να δημιουργήσουμε σύνδεσμο στην σελίδα μας προς μια άλλη τοποθεσία στο Web, όπως η σελίδα του Yahoo.

π.χ.

Yahoo
Google

Δημιουργία συνδέσμου προς άλλα δικά μας HTML έγγραφα του Site

Όταν «χτίζουμε» την δικιά μας ιστοσελίδα, χρησιμοποιούμε κυρίως συνδέσμους προς έγγραφα που βρίσκονται είτε στον ίδιο φάκελο με το HTML αρχείο που βρίσκεται το link είτε σε διαφορετικό φάκελο.



Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται ο τρόπος που συνδέονται μεταξύ τους οι σελίδες του site *Wlearn.gr*. Όλα τα HTML αρχεία που φαίνονται στην εικόνα είναι οργανωμένα σε φακέλους και βρίσκονται αποθηκευμένα στον τοπικό σκληρό δίσκο του Server που φιλοξενεί το site. Κάθε ένα από αυτά τα αρχεία περιέχει συνδέσμους προς άλλα αρχεία του site. Για παράδειγμα στην σελίδα index.html υπάρχει σύνδεσμος προς την σελίδα mathimata/index.html. Η σελίδα mathimata/index.html περιέχει έναν σύνδεσμο προς την σελίδα mathimata/css.html κ.ο.κ

Δημιουργία δεσμών

Η διαφορά των δεσμών από τους συνδέσμους είναι ότι οι δεσμοί μας μεταφέρουν σε ένα συγκεκριμένο σημείο μιας σελίδας. Χρησιμοποιείται κυρίως σε μεγάλου μήκους σελίδες στις οποίες θέλουμε να δημιουργήσουμε σημεία αναφοράς έτσι ώστε ο χρήστης να μεταφέρεται εύκολα μέσα σε αυτήν.

Οι δεσμοί δημιουργούνται χρησιμοποιώντας την ίδια ετικέτα που χρησιμοποιούν και οι σύνδεσμοι, δηλαδή την <a>, με την διαφορά αντί για την ιδιότητα *HREF*, χρησιμοποιούμε την ιδιότητα ***NAME*** με την οποία δίνουμε ένα όνομα στον δεσμό. Για παράδειγμα αν θέλαμε να δημιουργήσουμε έναν δεσμό με όνομα paragraph1 σε ένα σημείο της σελίδας μας, τότε θα γράφαμε:

Δεσμοί και σύνδεσμοι

Τώρα αν θέλουμε να προσθέσουμε στην ίδια σελίδα έναν σύνδεσμο (link) που θα μας οδηγεί στον δεσμό του εγγράφου που ονομάζεται paragraph1, τότε θα γράφαμε:

Πήγαινε στην πρώτη παράγραφο.

Έχουμε επίσης την δυνατότητα να μεταφερθούμε σε ένα συγκεκριμένο δεσμό μιας άλλης σελίδας. Έτσι αν θέλουμε να προσθέσουμε έναν σύνδεσμο στην σελίδα *public/mysite/mathimata/javascript/loops.html* προς τον δεσμό με όνομα paragraph1 της σελίδας *public/mysite/index.html*, τότε θα γράφαμε:

Link προς τον

δεσμό με όνομα paragraph1 του αρχείου index.html αρκεί βέβαια να υπάρχει ο αντίστοιχος Δεσμός, με όνομα paragraph1, στην σελίδα αυτή.

9. Πίνακες

Οι πίνακες είναι μια δομή της HTML η οποία τους επιτρέπει να εμφανίσουμε κείμενα και γραφικά στοιχισμένα μέσα σε γραμμές και στήλες.

π.χ.

Πίνακας 1X2	
1,1	1,2

Πίνακας 2X3		
1,1	1,2	1,3
2,1	2,2	2,3

Πίνακας 5X5				
1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
4,1	4,2	4,3	4,4	4,5
5,1	5,2	5,3	5,4	5,5

Ορισμός πινάκων

```
<table border="1">
<tr>
<td>γραμμή 1, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 1, στήλη 2</td>
</tr>
<tr>
<td>γραμμή 2, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 2, στήλη 2</td>
</tr>
</table>
```

Με τις ετικέτες <table>...</table> ορίζουμε έναν πίνακα. Το ζεύγος των ετικετών <tr>...</tr> ορίζει μια γραμμή του πίνακα, ενώ το ζεύγος των ετικετών <td>...</td> ορίζουν ένα κελί στην γραμμή του πίνακα. Η ιδιότητα *border* της ετικέτας <table> ορίζει το πάχος του περιγράμματος του πίνακα. Στο παραπάνω παράδειγμα δημιουργήσαμε πίνακα με δύο γραμμές που η κάθε μια από αυτές έχει δύο στήλες (2X2).

Επικεφαλίδες του πίνακα

```
<table border="1">
<tr>
<th>Επικεφαλίδα 1</th>
<th>Επικεφαλίδα 2</th>
</tr>
<tr>
<td>γραμμή 1, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 1, στήλη 2</td>
</tr>
<tr>
<td>γραμμή 2, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 2, στήλη 2</td>
</tr>
</table>
```

Με την ετικέτα <th> ορίζουμε μια επικεφαλίδα σε μια στήλη του πίνακα. Το κείμενο που βρίσκετε μέσα στις ετικέτες *<th>* και *</th>* εμφανίζεται με **bold** χαρακτήρες. Η ετικέτες *<th>...</th>* τοποθετούνται μέσα στις ετικέτες *<tr>...</tr>* όπως οι ετικέτες *<td>...</td>.*

Λεζάντα στον πίνακα

π.χ.

```
<table border="1">
<caption>Τίτλος του Πίνακα</caption>
<tr>
<th>Επικεφαλίδα 1</th>
<th>Επικεφαλίδα 2</th>
</tr>
<tr>
<td>γραμμή 1, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 1, στήλη 2</td>
</tr>
<tr>
<td>γραμμή 2, στήλη 1</td>
```

<td>γραμμή 2, στήλη 2</td>
</tr>
</table>

Με την ετικέτα <caption> τοποθετούμε λεζάντα στον πίνακα μας. Η λεζάντα τοποθετείται επάνω από τον πίνακα με στοίχιση στο κέντρο.

Περιγράμματα στον πίνακα

π.χ.

<table **border="1"**>
<tr>
<td>γραμμή 1, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 1, στήλη 2</td>
</tr>
<tr>
<td>γραμμή 2, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 2, στήλη 2</td
>
</tr>
</table>

Η ιδιότητα border της ετικέτας <table> ορίζει το πάχος του περιγράμματος του πίνακα.

Μήκος και ύψος του πίνακα

π.χ.
<table border="1" **width="400"**>
<tr>
<td>γραμμή 1, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 1, στήλη 2</td>
</tr>
<tr>
<td>γραμμή 2, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 2, στήλη 2</td>
</tr>
<tr>
<td>γραμμή 3, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 3, στήλη 2</td>
</tr>
</table>

Με την ιδιότητα width ορίζουμε το μήκος του πίνακα. Η ιδιότητα αυτή μπορεί να μπει επίσης στις ετικέτες <td> και <th> . Το παρακάτω παράδειγμα έχει το ίδιο αποτέλεσμα με το προηγούμενο όσο αφορά το σύνολο του μήκους του πίνακα. Στο επόμενο παράδειγμα ορίζουμε το μήκος για κάθε ένα κελί των γραμμών του πίνακα.

π.χ.

<table border="1">
<tr>
<td ***width="150"****>γραμμή 1, στήλη 1</td>*
<td ***width="250"****>γραμμή 1, στήλη 2</td>*
</tr>
<tr>
<td>γραμμή 2, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 2, στήλη 2</td>
</tr>
<tr>
<td>γραμμή 3, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 3, στήλη 2</td>
</tr>
</table>

*Στο παραπάνω παράδειγμα τοποθετήσαμε την ιδιότητα width στην ετικέτα <td> αντί στην ετικέτα <table>. Το πρώτο κελί κάθε γραμμής του πίνακα έχει μήκος 150 pixels, ενώ το δεύτερο κελί κάθε γραμμής του πίνακα έχει μήκος 250 pixels, οπότε το συνολικό μήκος της κάθε γραμμής, άρα και του πίνακα, είναι 400 pixels. Η ιδιότητα width τοποθετείται μόνο στα κελιά (<td> ή <th>) της πρώτης γραμμής και εφαρμόζετε για όλα τα κελιά του πίνακα. Με αυτόν τον τρόπο όταν θέλουμε να αλλάξουμε το μήκος των κελιών ενός πίνακα, αλλάζουμε μόνο το μήκος των κελιών της πρώτης γραμμής του. Δεν είναι λάθος να τοποθετούμε την ιδιότητα width σε όλα τα κελιά (<td>) όλων των γραμμών του πίνακα. Φανταστείτε όμως έναν πίνακα με 100 γραμμές και κάθε μια από αυτές να έχει 8 κελιά. Αν ποτέ θελήσουμε να αλλάξουμε διαστάσεις στα κελιά του πίνακα αυτού θα χρειαζόταν να κάνουμε 100*8=800 αλλαγές τιμών! Ενώ αν τοποθετήσουμε την ιδιότητα width μόνο στα 8 κελιά της πρώτης γραμμής, τότε θα χρειαζόταν να κάνουμε μόνο 8 αλλαγές τιμών οι οποίες θα παρασύρουν όλα τα κελιά των επόμενων γραμμών του πίνακα. Είναι προτιμότερο και συνηθέστερο να ορίζουμε το μήκος των κελιών (η ιδιότητα width στις ετικέτες <td> ή <th>) και όχι του συνολικού πίνακα (η ιδιότητα width στην ετικέτα <table>). Με την ιδιότητα height ορίζουμε το ύψος των κελιών των γραμμών ενός πίνακα. Η ιδιότητα αυτή μπαίνει και στην ετικέτα <th>. Αν στον παραπάνω πίνακα θέλουμε να ορίσουμε ύψος 100 pixels στην πρώτη γραμμή του πίνακα, ύψος 200 pixels στην δεύτερη γραμμή του πίνακα και ύψος 150 pixels στην τρίτη γραμμή του πίνακα, τότε θα γράφαμε:*

π.χ.

<table border="1">

```
<tr>
<td width="150" height="100">γραμμή 1, στήλη 1</td>
<td width="250">γραμμή 1, στήλη 2</td>
</tr>
<tr>
<td height="200">γραμμή 2, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 2, στήλη 2</td>
</tr>
<tr>
<td height="150">γραμμή 3, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 3, στήλη 2</td>
</tr>
</table>
```

Η ιδιότητα height τοποθετείτε μόνο στο πρώτο κελί μιας γραμμής του πίνακα και εφαρμόζετε για όλα τα κελιά της γραμμής αυτής, κάτι ανάλογο δηλαδή με την ιδιότητα width η οποία την τοποθετούμε μόνο στα κελιά της πρώτης γραμμής του πίνακα και αυτή εφαρμόζεται για όλα τα κελιά των επόμενων γραμμών του πίνακα.

Στοίχιση του πίνακα μέσα στην σελίδα

π.χ.

```
<table border="1" align="center">
<tr>
<td>γραμμή 1, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 1, στήλη 2</td>
</tr>
<tr>
<td>γραμμή 2, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 2, στήλη 2</td>
</tr>
</table>
```

Η ιδιότητα align της ετικέτας <table> ορίζει την στοίχιση του πίνακα μέσα στην σελίδα. Οι τιμές που μπορεί να πάρει η ιδιότητα align είναι: left, center και right.

Στοίχιση κειμένου μέσα στα κελιά

π.χ.

```
<table border="1">
<tr>
<td align="left">γραμμή 1, στήλη 1</td>
<td align="left">γραμμή 1, στήλη 2</td>
```

```
</tr>
<tr>
<td align="right">γραμμή 2, στήλη 1</td>
<td align="right">γραμμή 2, στήλη 2</td>
</tr>
<tr>
<td align="center">γραμμή 3, στήλη 1</td>
<td align="center">γραμμή 3, στήλη 2</td>
</tr>
<tr align="center">
<td>γραμμή 4, στήλη 1</td>
<td>γραμμή 4, στήλη 2</td>
</tr>
</table>
```

Με την ιδιότητα align των ετικετών <td> και <tr> καθορίζουμε την στοίχιση του κειμένου μέσα στα κελιά. Αν η ιδιότητα είναι στην ετικέτα <td> τότε η στοίχιση που καθορίσαμε θα ισχύει μόνο για το συγκεκριμένο κελί, ενώ αν είναι στην ετικέτα <tr> τότε η στοίχιση θα ισχύσει για όλα τα κελιά της γραμμής.

Βιβλιογραφία

Βιβλία

1. C. Kittel "Μηχανική" Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ
2. J.L. Martin "Γενική Σχετικότητα – Μια βασική εισαγωγή για φυσικούς" Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης
3. N.K. Σπύρου "Εισαγωγή στην Γενική θεωρία της Σχετικότητας"
4. Frank H. Shu "Αστροφυσική" Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης
5. B. Russell "ABC Of Relativity 4th. revised ed."
6. Bernard Schutz "Gravity from the ground up"
7. James B. Hartle "Gravity An Introduction to Einstein's General Relativity"

Ιστοσελίδες

1. http://www.etsu.edu/physics/plntrm/relat/general.htm
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Introduction_to_general_relativity#Experimental_tests
3. http://en.wikipedia.org/wiki/General_relativity
4. http://astro.ucc.ie/research/intro/index.html

5. http://einstein.stanford.edu/MISSION/mission1.html

6. http://www.astro.cornell.edu/academics/courses/astro2201/bh_structure.htm

7. http://www.theory.caltech.edu/people/patricia/test/Einstein32.html

8. http://www.cellularuniverse.org/S3DynamicCosmicCell.htm

9. http://galileoandeinstein.physics.virginia.edu/lectures/srelwhat.html