ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΙΑ – ΒΑΡΥΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

ΜΑΘΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΧΙΛΛΙΑ ΓΙΑΣΜΙΝ ΜΑΧΦΟΥΝΤ ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΥ

1. Συμβολόμετρο
2. Εφαρμογές – Αρχή λειτουργίας
3. Συμβολόμετρο Michelson Morley
4. Συμβολόμετρο Fabry-Perot
5. Ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων

Εφαρμογές:

- Αστρονομία
- Οπτικές ίνες
- Ωκεανογραφία
- Σεισμολογία
- Φασματοσκοπία

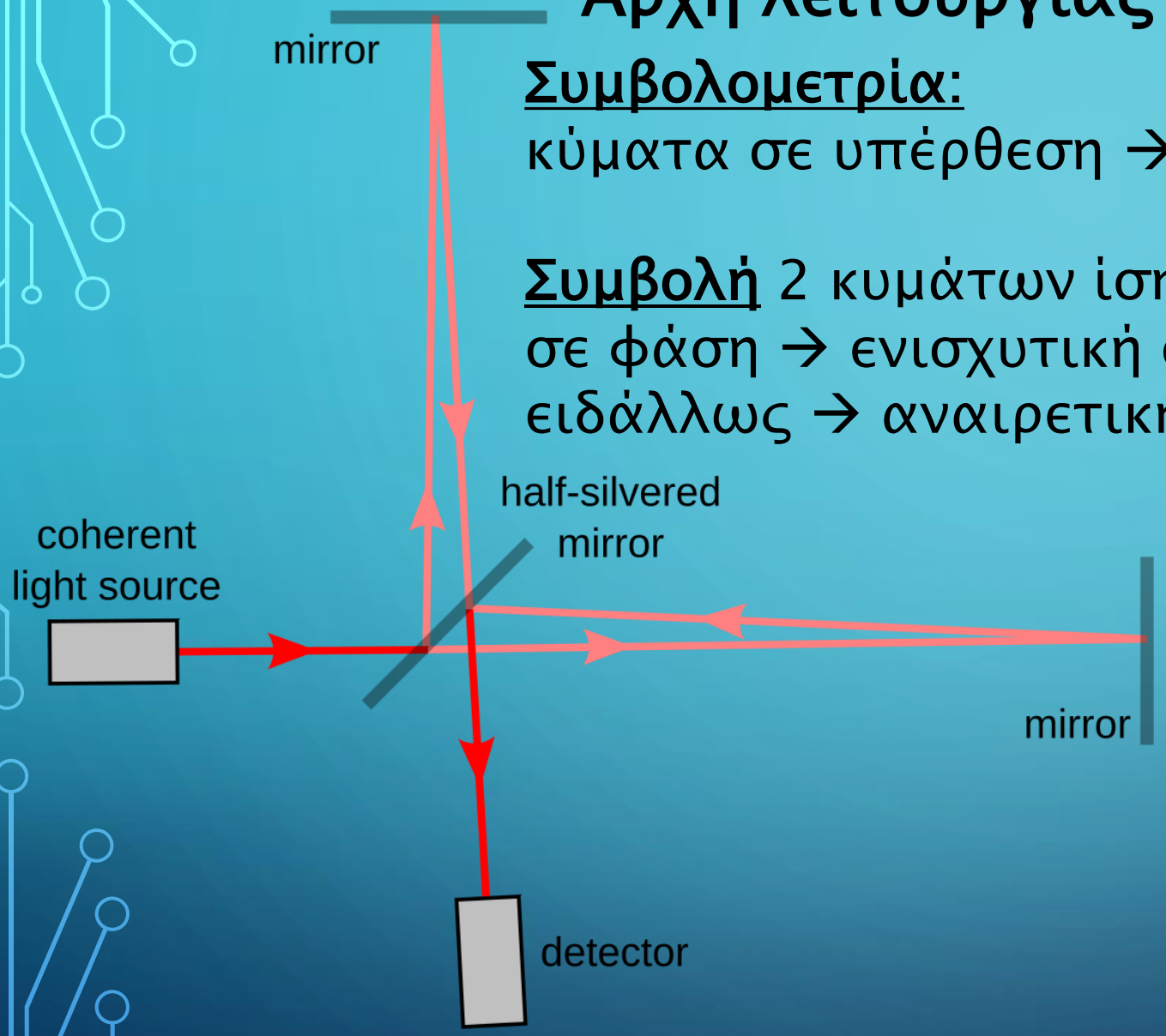
- Κβαντική Μηχανική
- Πυρηνική Φυσική
- Φυσική του Πλάσματος
- Τηλε-ανίχνευση
- Μοριακή Βιολογία

Very large Array, New Mexico

Αρχή λειτουργίας Συμβολομέτρου

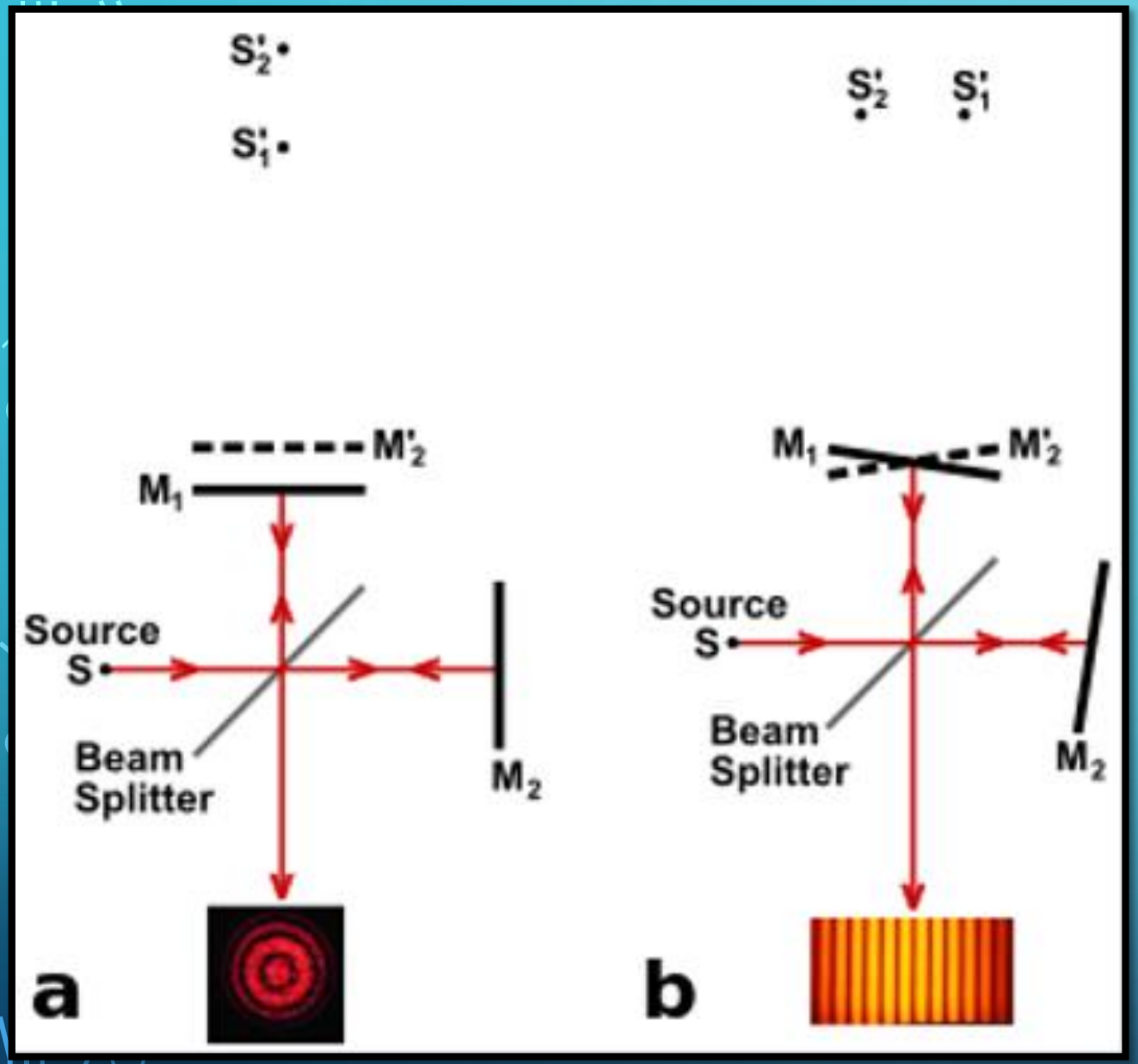
Συμβολομετρία:
κύματα σε υπέρθεση → συμπέρασμα για αρχικά κύματα

Συμβολή 2 κυμάτων ίσης συχνότητας, αν:
σε φάση → ενισχυτική συμβολή
ειδάλλως → αναιρετική συμβολή



www.rp-photonics.com/interferometers

Κροσσοί συμβολής



Σχήμα α:
Ομόκεντροι κύκλοι

Σχήμα b:
Παράλληλα ευθύγραμμα τμήματα που ισαπέχουν

Συμβολόμετρο Michelson
www.rp-photonics.com/interferometers

Τεχνικές Συμβολομετρίας

Κριτήρια:
1ο : Ομόδυνη – Ετερόδυνη ανίχνευση

Ομόδυνη ανίχνευση:
συμβολή μεταξύ δύο δεσμών
ίδιου μήκους κύματος και συχνότητας.
Διαφορά φάσης δεσμών → μεταβολή έντασης φωτός σε ανιχνευτή.

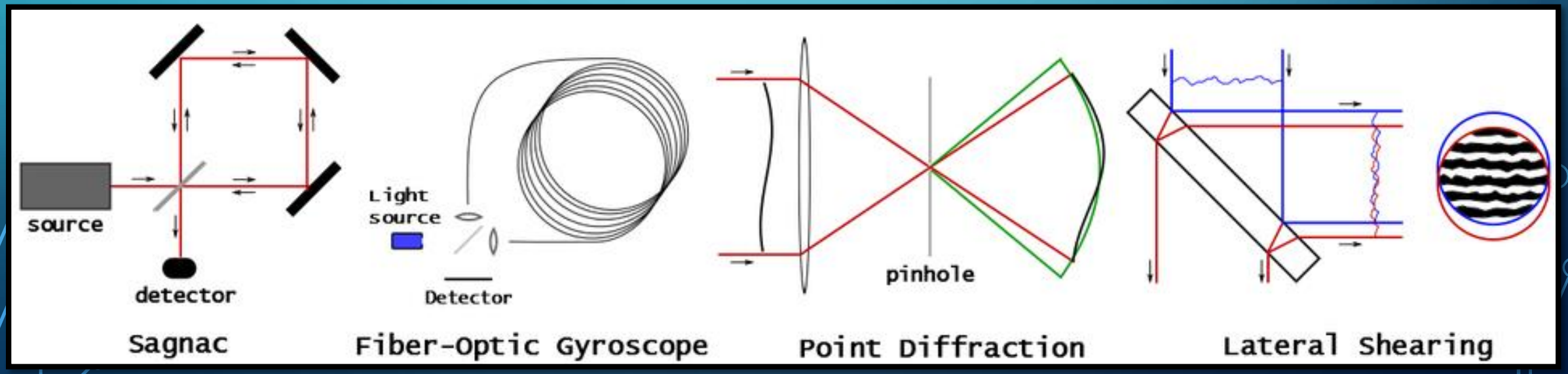
Μετράται η ένταση του φωτός
ή καταγράφεται το είδος των κροσσών συμβολής.

Ετερόδυνη τεχνική:
για μετατροπή σήματος ή ενίσχυση αδύναμου σήματος.

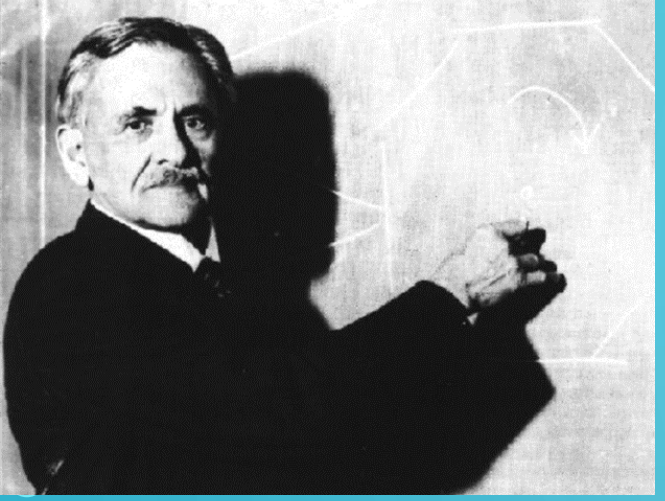
2ο : Διαδρομή δέσμης φωτός

Διπλής πορείας:
Δέσμη αναφοράς και δέσμη-δείγμα διανύουν αποκλίνουσες πορείες (όπως συμβολόμετρο Michelson)

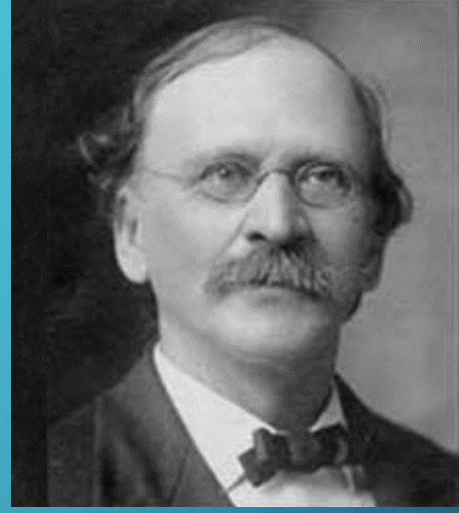
Κοινής πορείας:
2 δέσμες διανύουν ίδια διαδρομή



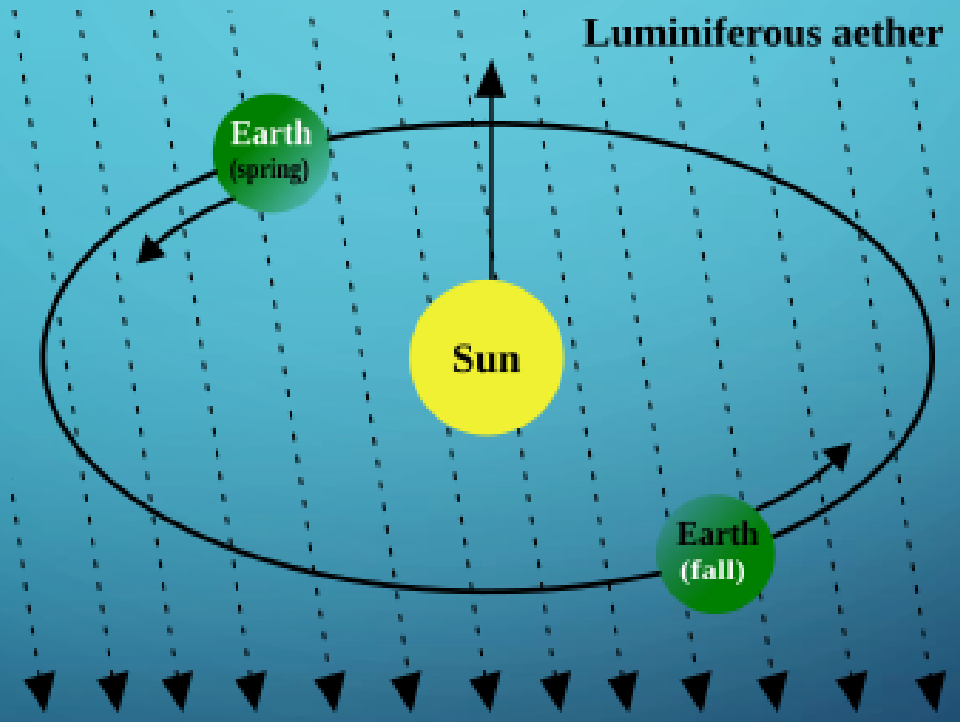
www.rp-photonics.com/interferometers



Συμβολόμετρο Michelson Morley 1887

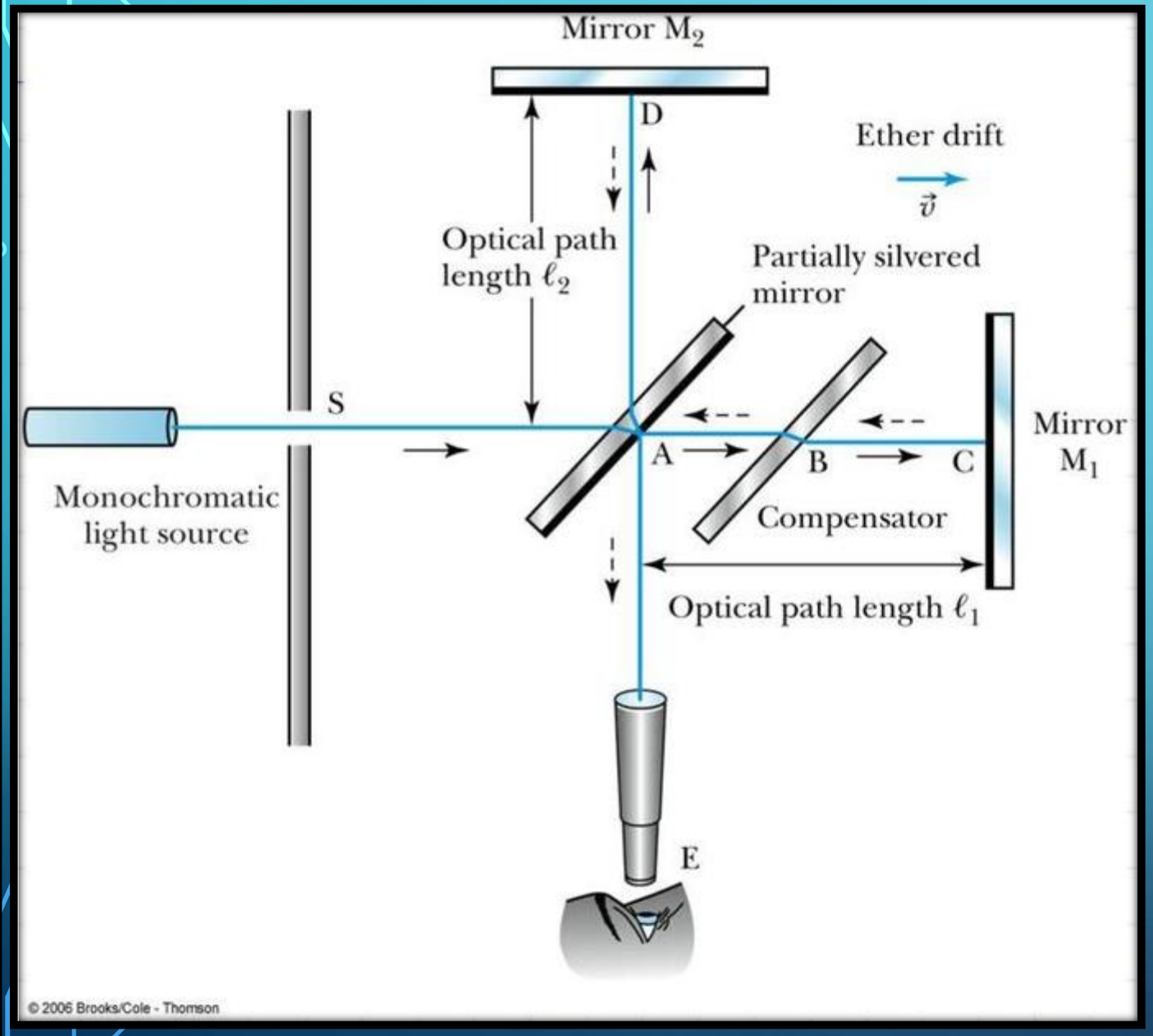


Σκοπός:
ανίχνευση αιθέρα ως μέσο διάδοσης φωτός κατά την διάρκεια κίνησης της Γης



Τέθηκαν τα θεμέλια της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας του Einstein (1905)

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AetherWind.svg

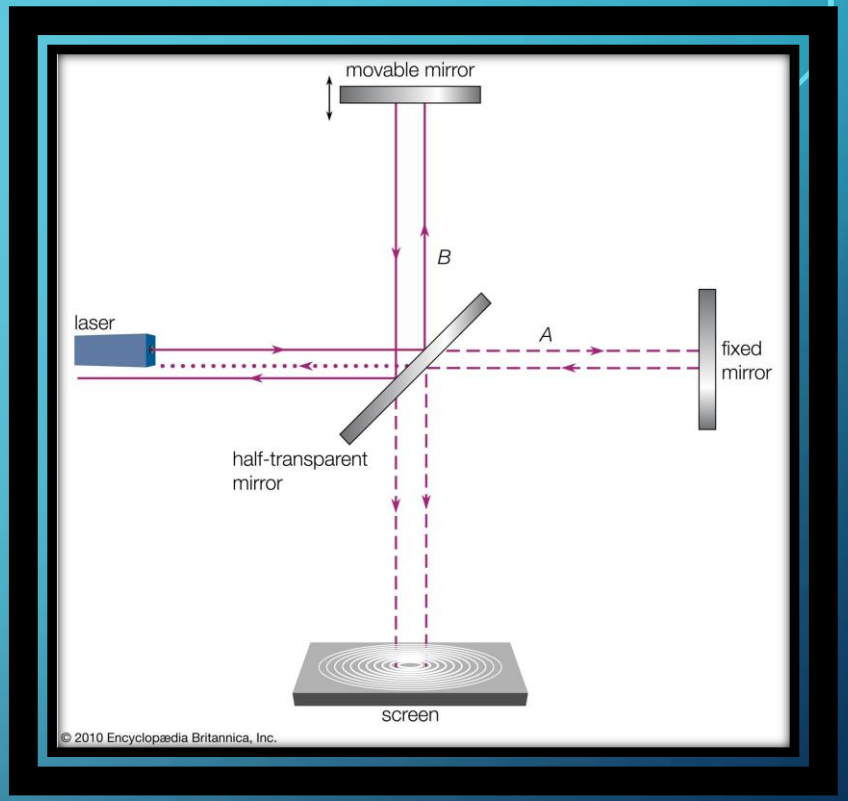


Πείραμα Michelson–Morley

Μέτρηση διαφοράς φάσης μεταξύ δύο φωτεινών κυμάτων που ταξιδεύουν σε κάθετες κατευθύνσεις

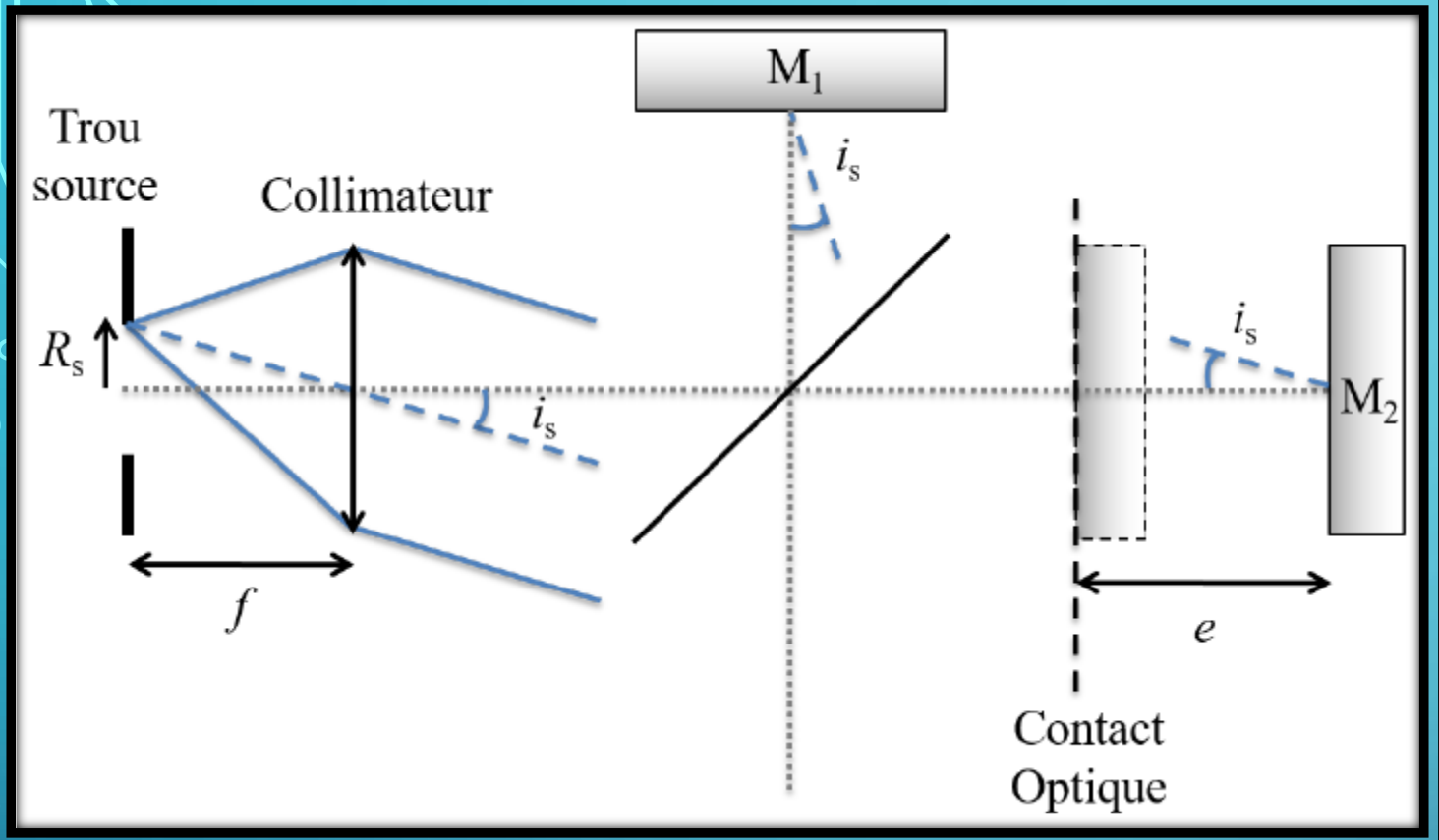
Φωτεινή πηγή:
μονοχρωματική δέσμη φωτός από αριστερά.

Ημιδιαφανής καθρέφτης:
Διαχωρισμός φωτός σε δύο ακτίνες σε 2 πορείες:
- ευθεία
- ανακλώμενη κάθετα



Καθρέφτες M_1 και M_2:
Ανακλούν τις δύο ακτίνες προς τα πίσω.
Οι ακτίνες ενώνονται → συμβολή

Αποτέλεσμα πειραματικής διαδικασίας:
Αν υπήρχε αιθέρας, τότε το σχέδιο συμβολής θα άλλαζε καθώς το όργανο περιστρεφόταν.
Δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική μετατόπιση →
Συμπέρασμα: Δεν υπάρχει αιθέρας.

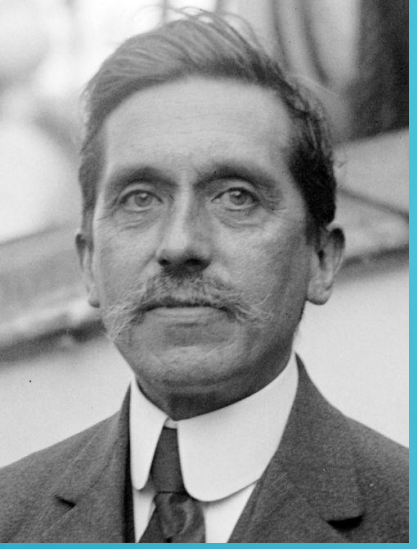


$\Delta L = 2e \cos i_s$

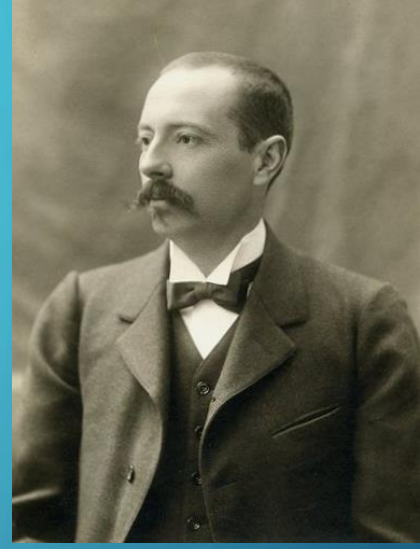
Ενισχυτική συμβολή (φωτεινό σήμα):
$2e \cos i_s = m\lambda$

Αναιρετική συμβολή (σκοτεινό σήμα):
$2e \cos i_s = (m + ½)\lambda$

Ανίχνευση μικροσκοπικών μεταβολών μήκους ή αλλαγές στην φάση του φωτός



Συμβολόμετρο Fabry–Pérot 1899



Σκοπός:
Αύξηση ακρίβειας
στις μετρήσεις φασματικών γραμμών
κατά την ανάλυση του φωτός

Εφαρμογές:

- Φασματοσκοπία
- Τηλεπικοινωνίες
- Βιοϊατρική
- Γεωδεσία
- Αισθητήρες
- Βαρυτικά κύματα

Αρχή λειτουργίας

➢ 2 ημιδιαφανή παράλληλα κάτοπτρα:
Το φως ανακλάται πολλές φορές
→ συμβολές

➢ Φιλτράρισμα:
ενισχύονται συγκεκριμένα μήκη κύματος

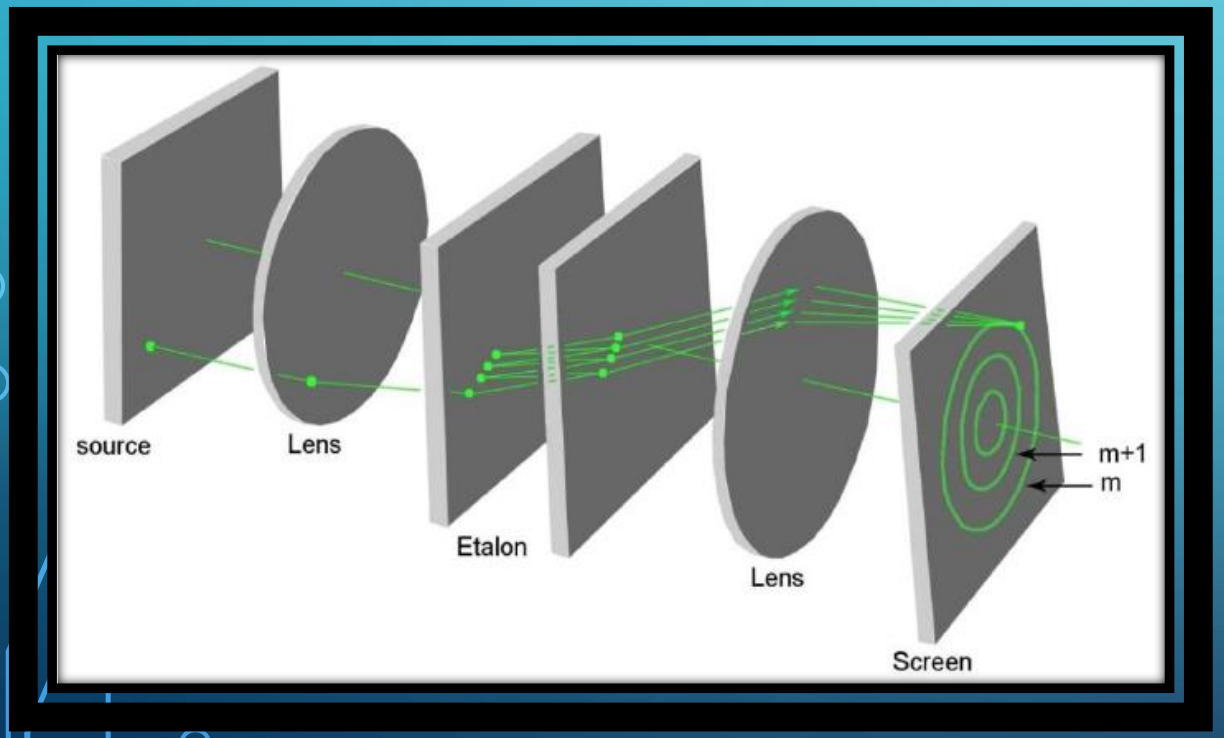
Πηγή μονοχρωματικού φωτός

1ος φακός: συγκέντρωση και παραλληλισμός φωτός

Κοιλότητα Fabry-Pérot
Πολλαπλές ανακλάσεις

2ος φακός: εστίαση εξερχόμενων ακτίνων

Οθόνη: κροσσοί συμβολής



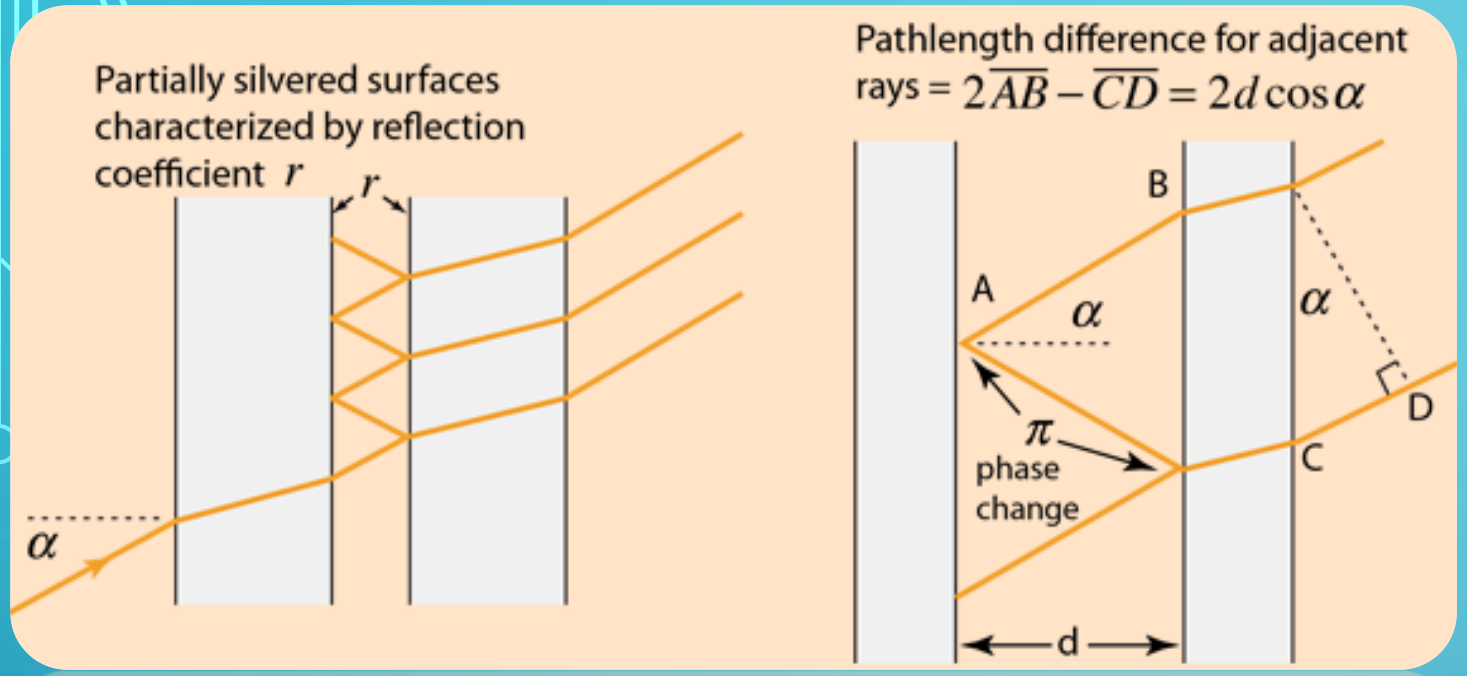
www.univie.ac.at

Ενισχυτική συμβολή:

οι εκπεμπόμενες δέσμες βρίσκονται σε φάση

Αναιρετική συμβολή:

οι εκπεμπόμενες δέσμες δεν βρίσκονται σε φάση



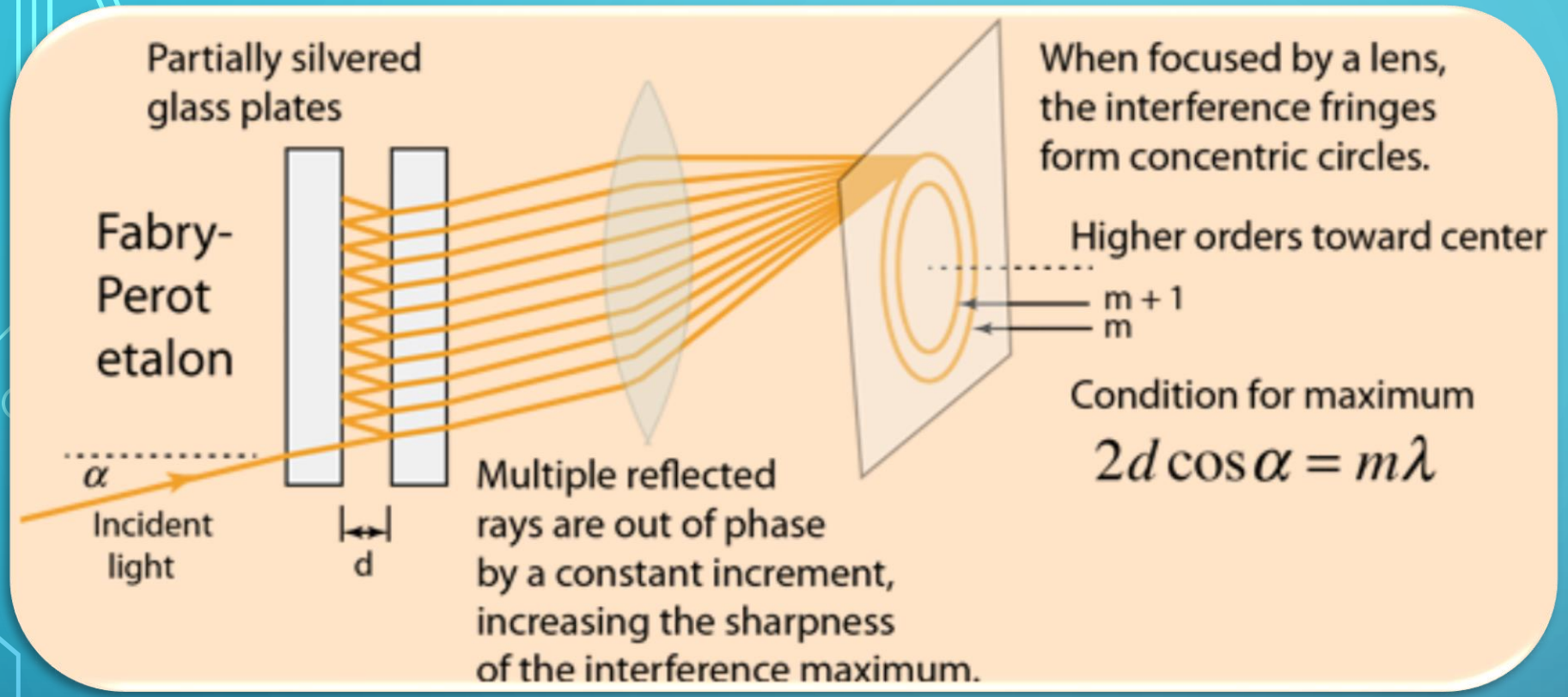
Διαφορά φάσης μεταξύ 2 διαδοχικών ανακλάσεων

$$\delta = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) 2n\lambda cosa$$

Ενισχυτική συμβολή

$$\delta = 2m\pi$$

m: ακέραιος αριθμός
που δείχνει την τάξη της συμβολής



Επιφάνειες ανάκλασης του etalon:

ανακλαστικότητα r

Διαπερατότητα συμβολομέτρου:

$$T = \frac{(1-r)^2}{1+r^2-2r\cos\delta} = \frac{1}{1+F\sin^2(\frac{\delta}{2})}$$

Μέγιστη διαπερατότητα T = 1: οπτική διαφορά μήκους διαδρομής μεταξύ των δεσμών διαπερατότητας 2ndcosα = mλ (ακέραιο πολ/σιο του λ)

Συντελεστής λεπτότητας:

$$F = \frac{4r}{(1-r)^2}$$

hyperphysics.phy-astr-gsu.edu

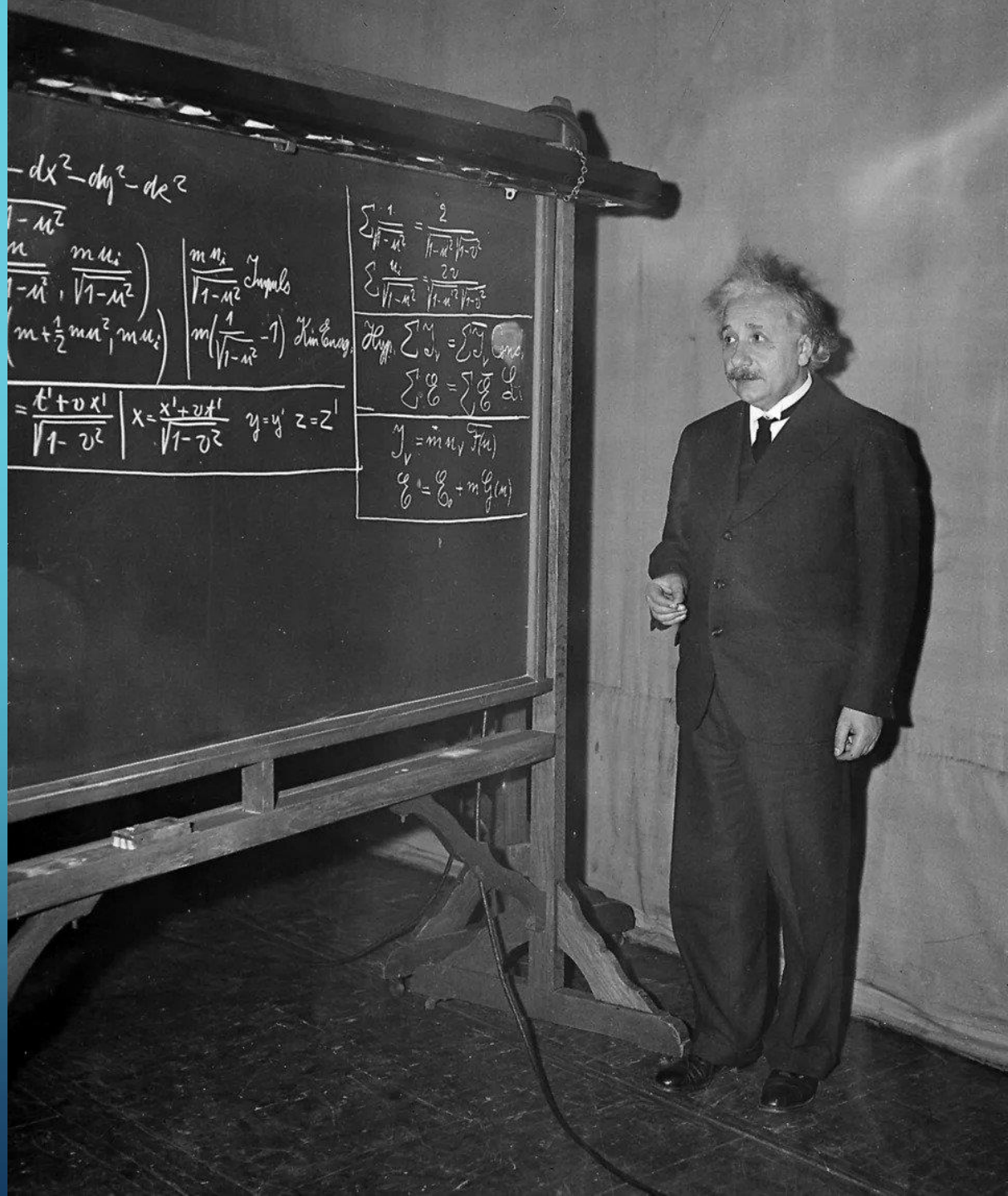
Βαρυτικά κύματα
1916

Πρόβλεψη από τον Albert Einstein βάσει της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας.

Κυματισμοί καμπυλότητας χωροχρονικού συνεχούς διαδιδόμενα ως κύματα εξερχόμενα από πηγή.

Πηγές: δυαδικά αστρικά συστήματα

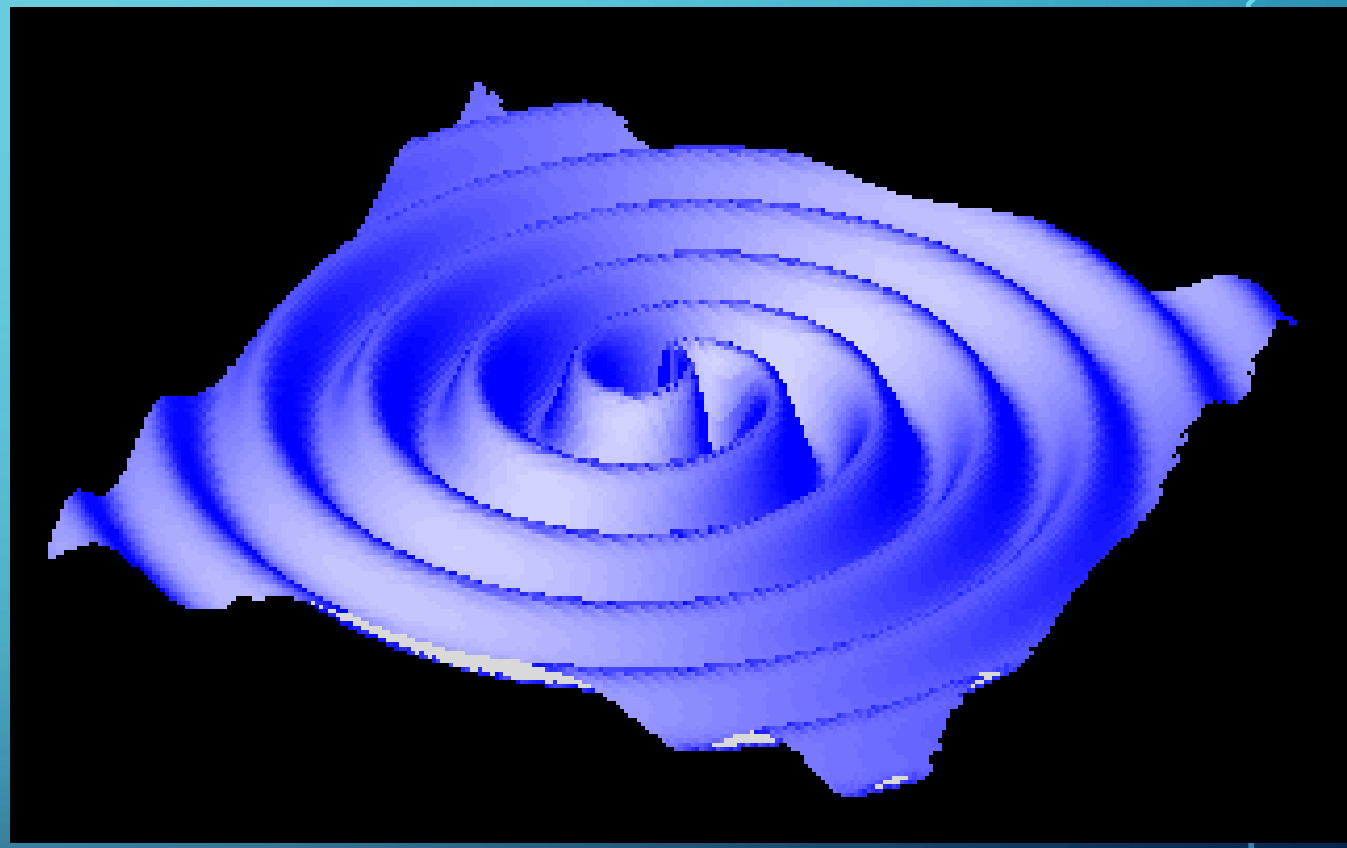
- λευκών νάνων
- αστέρων νετρονίων
- Μαύρων τρυπών



Συμβολομετρία
στην ανίχνευση των βαρυτικών κυμάτων

1962:
Ρώσοι

Michail Gertsenstein και V. Pustovoit

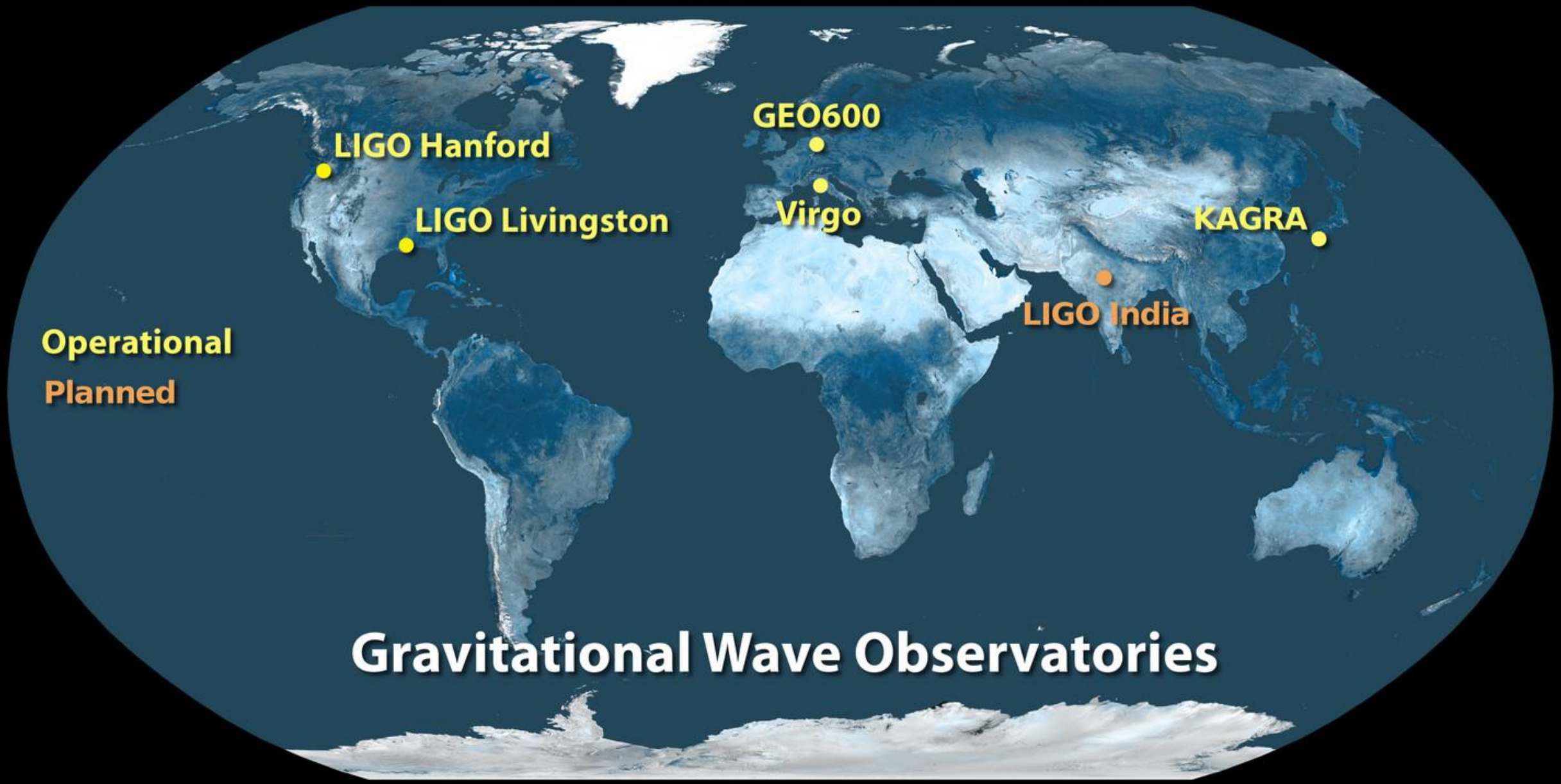


11 Φεβρουαρίου 2016:

Ανιχνευτές LIGO

Επιβεβαίωση της πρόβλεψης
των βαρυτικών κυμάτων

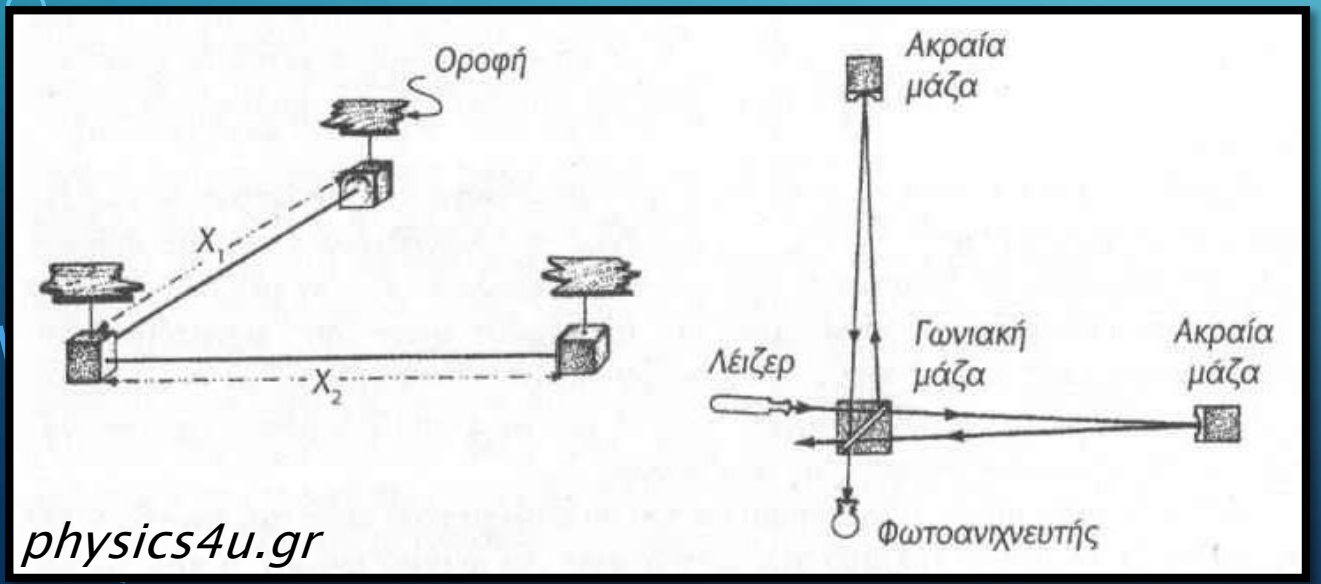
nasa.gov



ligo.Caltech.edu

Αρχή λειτουργίας

- Εισέρχεται βαρυτικό κύμα στο εργαστήριο
από την οροφή ή από το δάπεδο.
- Παλιρροϊκή δράση → Διαφορά μήκους βραχιόνων X1 – X2
- Η διαφορά καταγράφεται μέσω συμβολομετρίας.
- 2 δέσμες προχωρούν προς τους 2 βραχίονες
και ανακλώνται στα κάτοπτρα των μαζών.
- Η δέσμη από τον 1 βραχίονα
φτάνει με μικρή καθυστέρηση ως προς την άλλη.



Όχι πλήρως αναιρετική συμβολή.

Ποσότητα φωτός στον ανιχνευτή:

→ ανάλογη της διαφοράς μήκους X1 – X2

→ ανάλογη της έντασης του βαρυτικού κύματος

Βιβλιογραφία

- « Ondes gravitationnelles : Ligo et Virgo ont détecté 4 nouvelles fusions de trous noirs ! », futura-sciences.com
- « Релятивистская астрофизика », astro.spbu.ru
- « Τα βαρυτικά κύματα, οι ιδιότητές τους και η ανίχνευσή τους », physics4u.gr
- « Fabry-Perot Interferometer », hyperphysics.phy-astr.gsu.edu
- « Michelson-Morley experiment », en.wikipedia.org
- « Interférométrie », fr.m.wikipedia.org
- « ΜΑΥΡΕΣ ΤΡΥΠΕΣ ΚΑΙ ΣΤΡΕΒΛΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ », Kip S. Thorne

Ευχαριστώ πολύ !

Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT), India

Αχιλλία