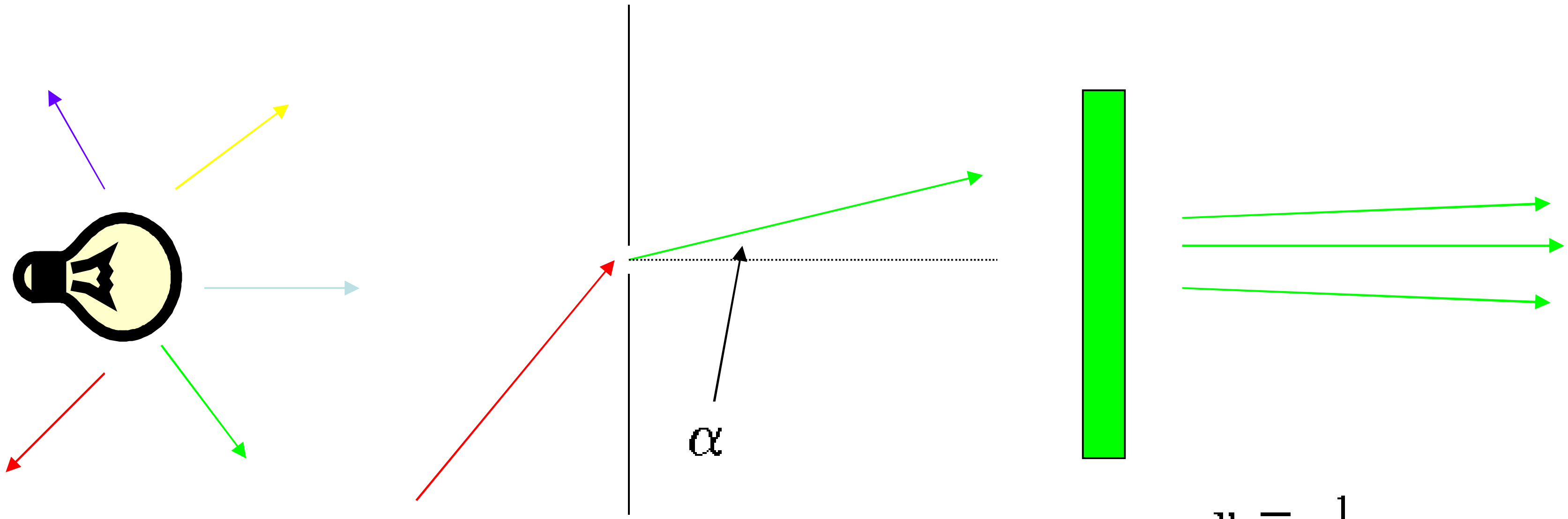
Präparation einer kohärenten Quelle

Glühlampe:
strahlt
inkohärentes
Licht ab

1.Schritt:
Räumliche
Kohärenz
durch
Kollimator

2.Schritt:
Farbfilter:
Dadurch Verlängerung
der zeitlichen
Kohärenzlänge



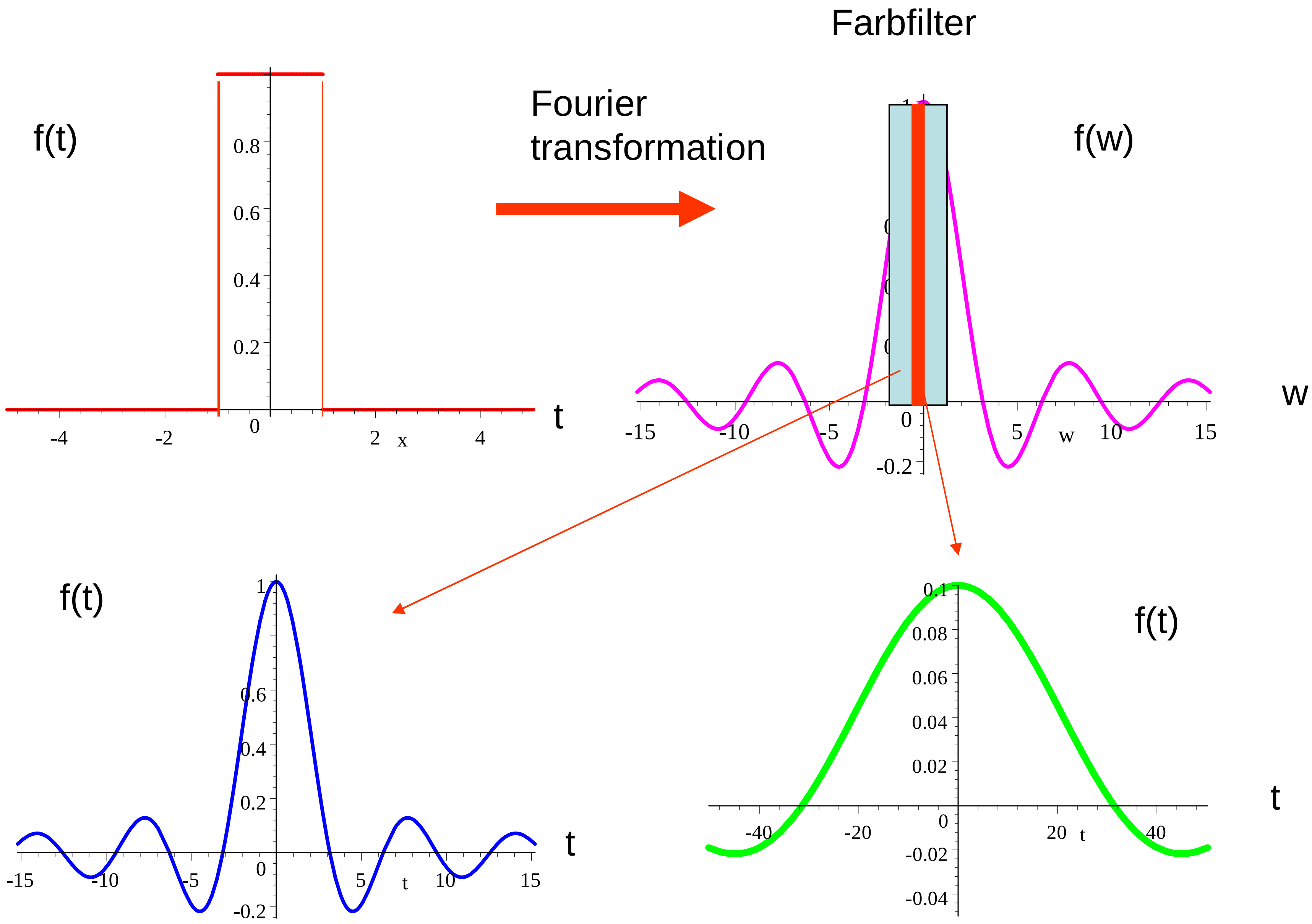
Δl

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Sorgt für:

$$\Delta l \cdot \sin\alpha \prec \frac{\lambda}{2}$$

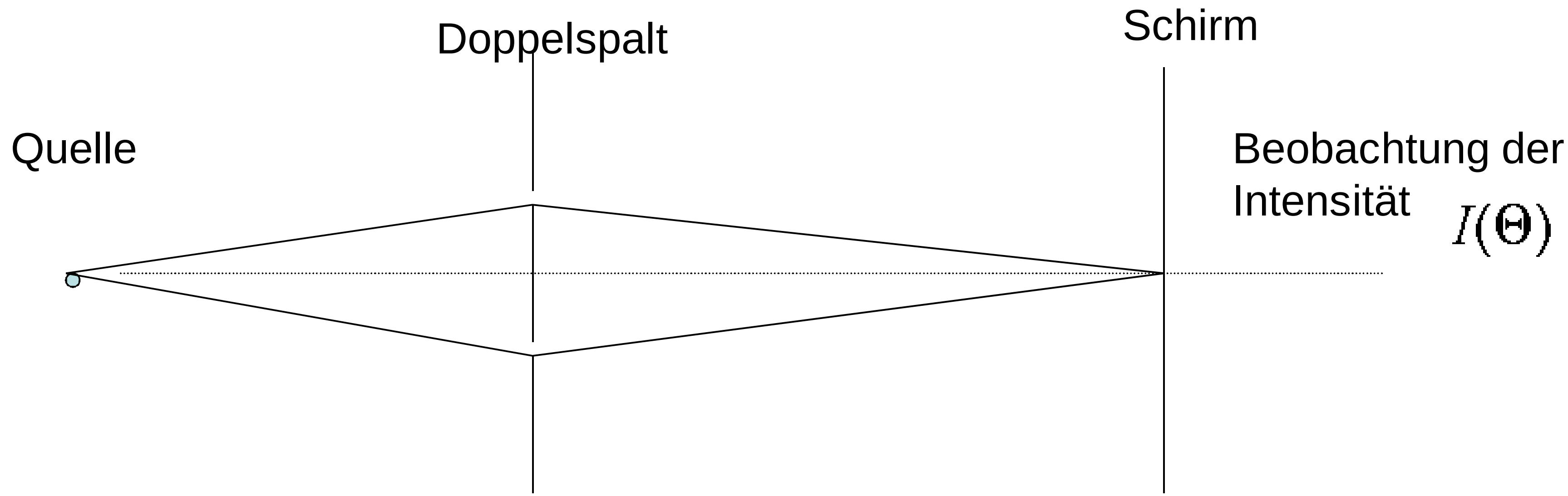
$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = -\frac{\Delta T}{T}$$

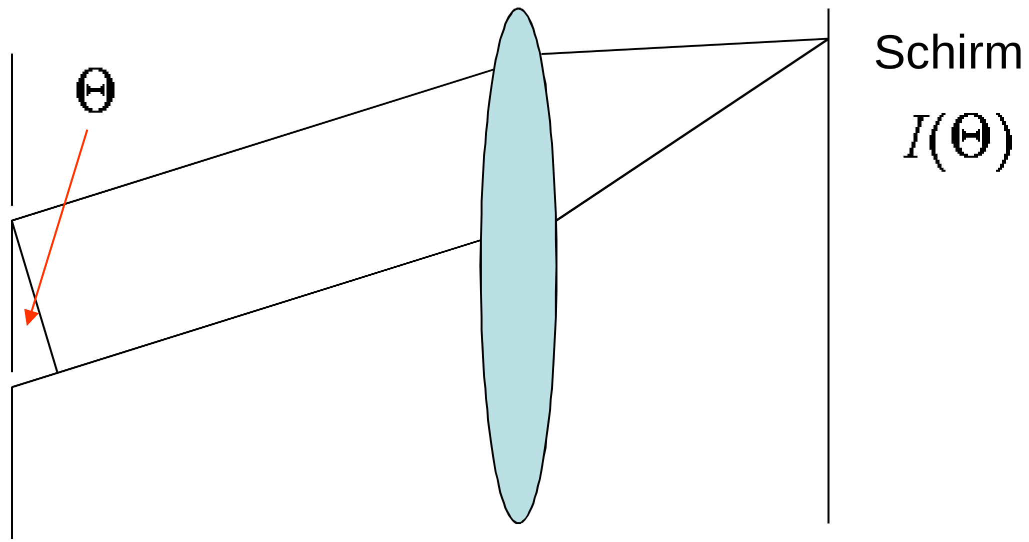


Verlängerung des Wellenzugs

Interferenzversuche:

Youngscher Doppelspalt



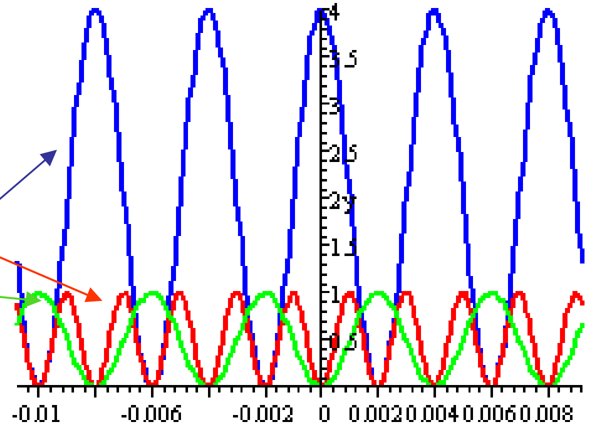


Berechnung wie bei der Überlagerung der Induzierten Dipole: s.o.

$$I(\Theta) = I_0 \frac{\sin^2\left[N\cdot\pi\cdot\left(\frac{d}{\lambda}\right)\cdot\sin\Theta\right]}{\sin^2\left[\pi\cdot\left(\frac{d}{\lambda}\right)\cdot\sin\Theta\right]}$$

N=2 $\longrightarrow I(\Theta)$ Doppelspalt

$$I(\Theta) = I_0 \frac{\sin^2\left[2\cdot\pi\cdot\left(\frac{d}{\lambda}\right)\cdot\sin\Theta\right]}{\sin^2\left[\pi\cdot\left(\frac{d}{\lambda}\right)\cdot\sin\Theta\right]}$$



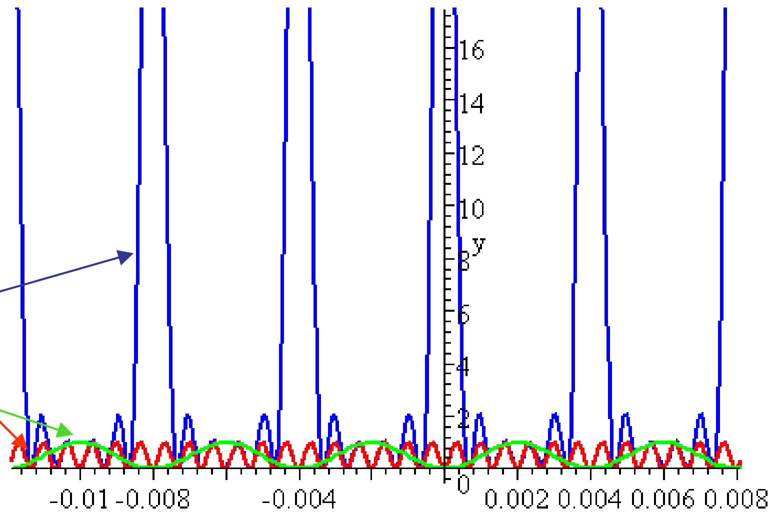
N=6 $\longrightarrow I(\Theta)$ Beispiel für Gitter Vielstrahlinterferenz

Hauptmaxima: Nullstellen im Nenner

Ordnung

x Bedingung: $d \cdot \sin\Theta_m = m \cdot \lambda$

$$I(\Theta) = I_0 \frac{\sin^2\left[6\cdot\pi\cdot\left(\frac{d}{\lambda}\right)\cdot\sin\Theta\right]}{\sin^2\left[\pi\cdot\left(\frac{d}{\lambda}\right)\cdot\sin\Theta\right]}$$



Mit $\alpha = \pi \cdot \left(\frac{d}{\lambda}\right) \cdot \sin\Theta$

Hauptmaxima: $\alpha = 0, \pm\pi, \pm 2\pi, \ldots.$

Nebenmaxima: Abstand $\Delta\alpha = \frac{2\pi}{N}$

Sehr sensitiv auf λ

Wie gut kann man Linien mit λ und $\lambda + \Delta\lambda$ trennen?!

Dispersion D : $\frac{d\Theta}{d\lambda}$ Auflösung: $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda_{min}}$

$$\Delta\alpha = \frac{\pi}{\lambda} \cdot d \cdot \cos\Theta \cdot \Delta\Theta = 2\pi/N$$

$$\rightarrow \Delta\Theta = \frac{2\lambda}{N \cdot d \cdot \cos\Theta_m} \quad \text{(xx)}$$

aus (x) $D : d \cdot \cos\Theta_m \cdot d\Theta_m = m \cdot d\lambda$

$$D = \frac{m}{d \cdot \cos\Theta_m}$$

Winkelauflösung wird besser mit höherer Ordnung

aus (xx)

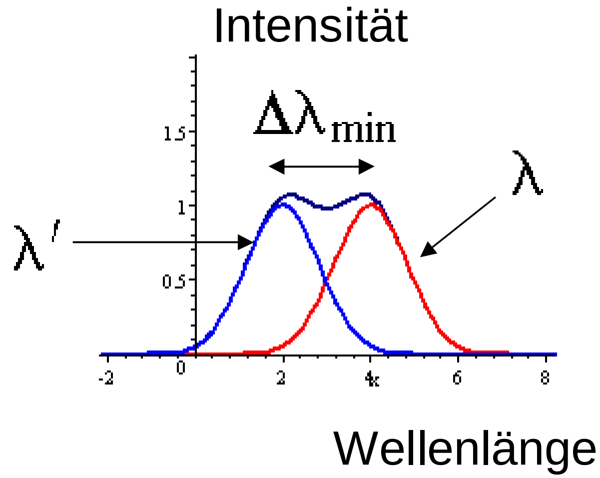
$$\Delta\Theta_{min} = \frac{2\lambda_{min}}{N \cdot d \cdot \cos\Theta_m}$$

$$\boxed{\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = N \cdot m}$$

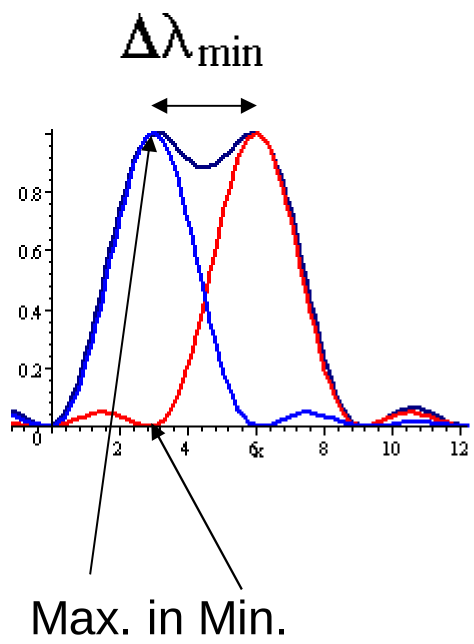
aus (x) $\Delta\Theta_{min} = \frac{m \cdot \Delta\lambda_{min}}{d \cdot \cos\Theta_m}$ $\Delta\lambda = \frac{\Delta\lambda_{min}}{2}$

Auflösung des Gitters

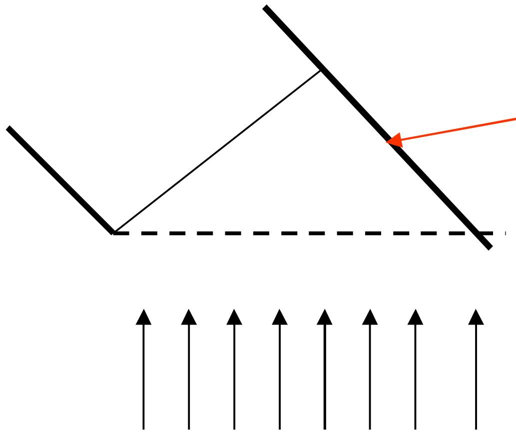
Allgemein:



Beim Gitter:



Zurückführung auf ein allgemeines Prinzip:



$$\Delta s = m \cdot N \cdot \lambda$$

Gitter

Zeitunterschied der Randstrahlen:

$$\Delta T = \frac{\Delta s}{c}$$

$$\Delta T = \frac{m \cdot N \cdot \lambda}{c} = \frac{\lambda^2}{c \cdot \Delta\lambda_1} = \frac{1}{\Delta\nu}$$

Denn mit: $c = \lambda \cdot \nu$ $\qquad \Delta\nu = \dfrac{c \cdot \Delta\lambda}{\lambda^2}$

$$\boxed{\Delta\nu \cdot \Delta T = 1}$$

Bandbreite in der Frequenz $\cong$ reziproken Zeitdifferenz der Randstrahlen

Entspricht einer Fouriertransformation:

Fouriertransformation

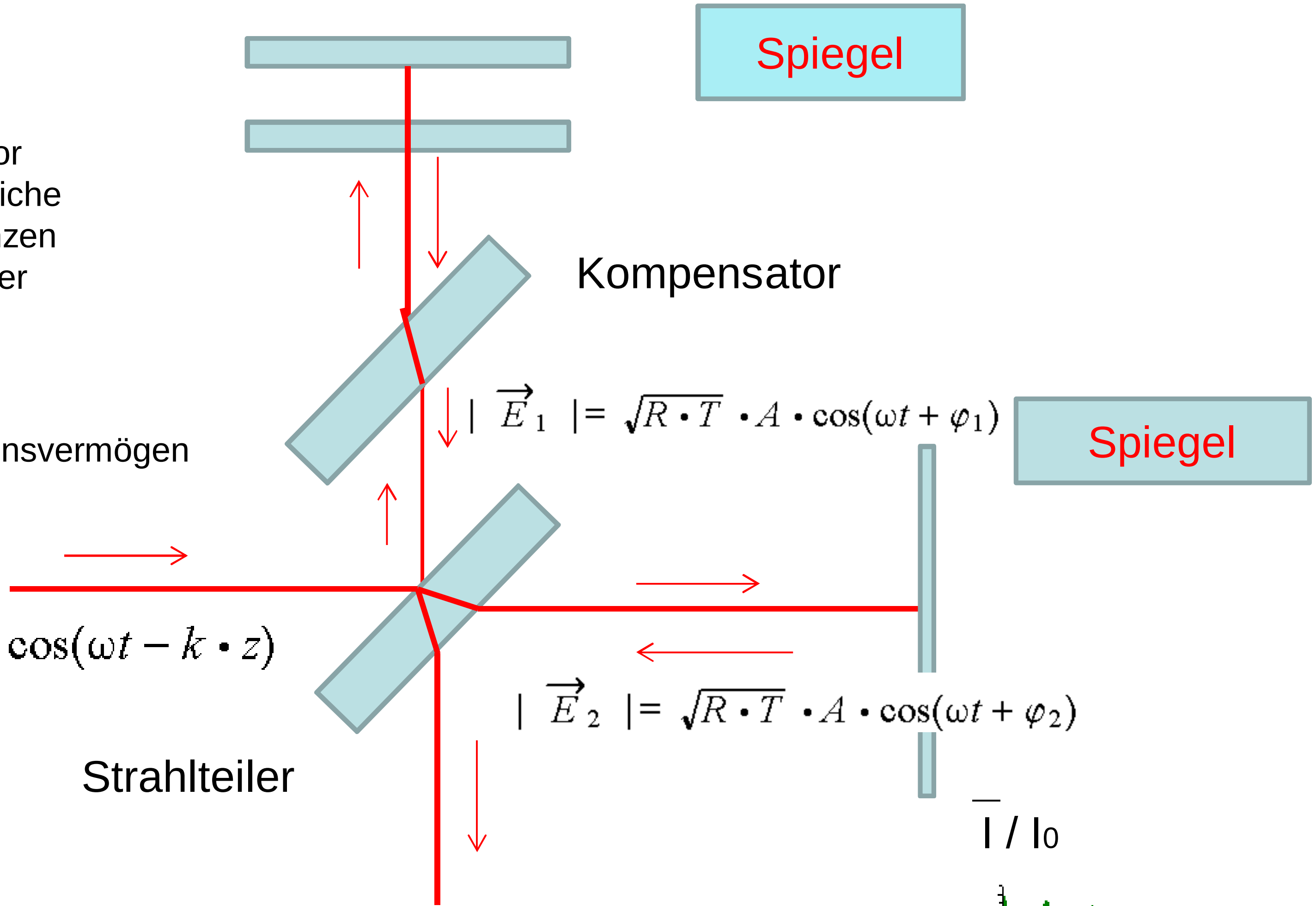
$$f(\nu) \overset{FT}{\Longleftrightarrow} f(T)$$

Michelson Interferometer

Sehr präzise Längenmessung möglich

Kompensator sorgt für gleiche Wegdifferenzen im Strahlteiler

R: Reflexions-
T: Transmissionsvermögen

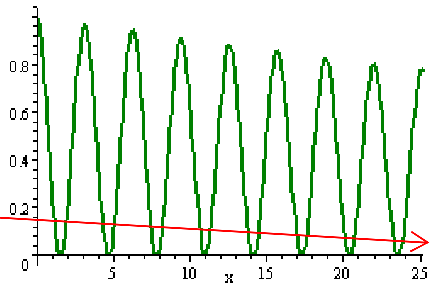


$$\vec{E}_e = \vec{A}_e \cdot \cos(\omega t - k \cdot z)$$

$$|\vec{E}_1| = \sqrt{R \cdot T} \cdot A \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$|\vec{E}_2| = \sqrt{R \cdot T} \cdot A \cdot \cos(\omega t + \varphi_2)$$

$\overline{I} / I_0$



$$I_T = c \cdot \epsilon_0 \cdot (E_1 + E_2)^2$$

$$= c \cdot \epsilon_0 \cdot R \cdot T \cdot A_e^2 \cdot [\cos(\omega t + \varphi_1) + \cos(\omega t \cdot \varphi_2)]^2$$

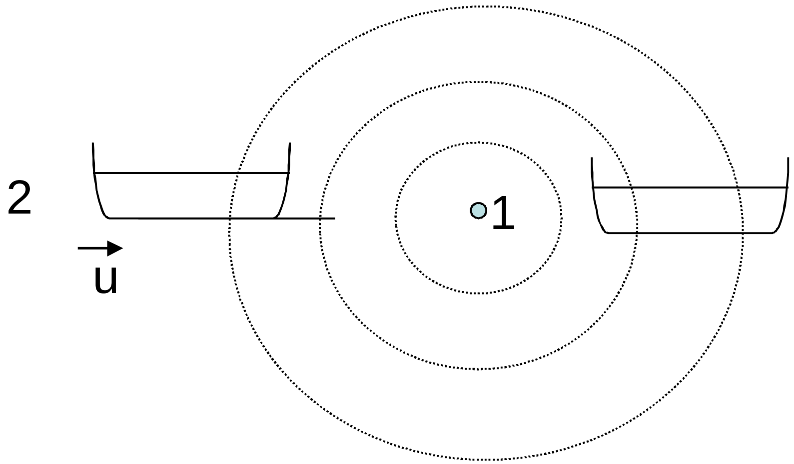
$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta s$ Wegdifferenz

Zeitlich gemittelte Intensität: $\overline{I} = R \cdot T \cdot I_0 (1 + \cos \Delta\varphi)$

Michelson-Morley Experiment

Ziel: Absolute Bestimmung der Geschwindigkeit der Erdbewegung

Idee: Wie Schiff und Strömung



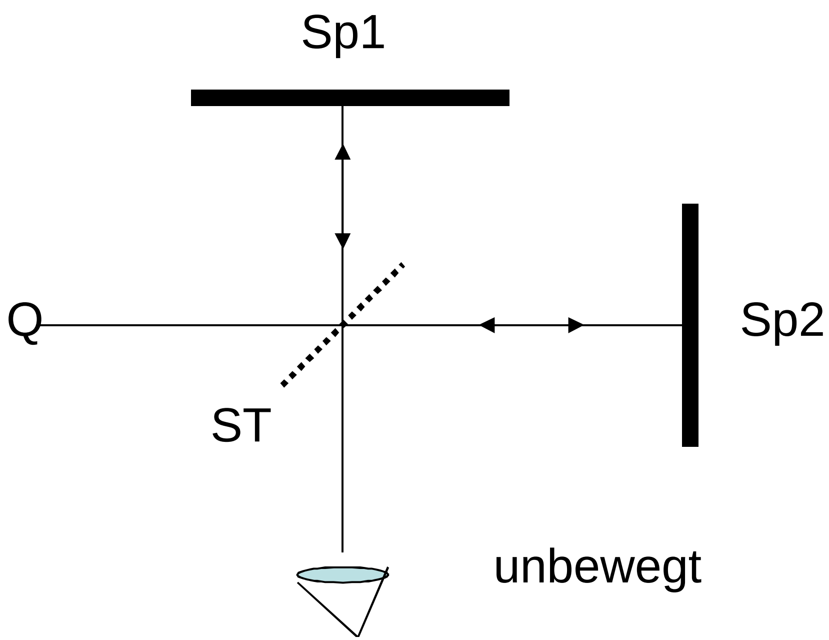
1 Störung

2 z.B. Schiff bewegt sich mit Geschwindigkeit u

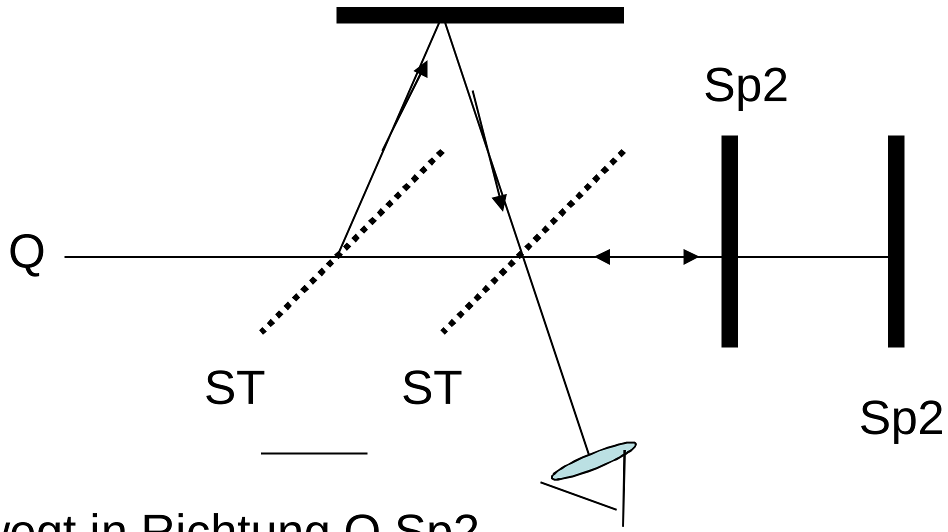
Geschwindigkeiten relativ zum Schiff

$v_{r_1} = c - u$ In Fahrtrichtung

$v_{r_2} = c + u$ Gegen Fahrtrichtung

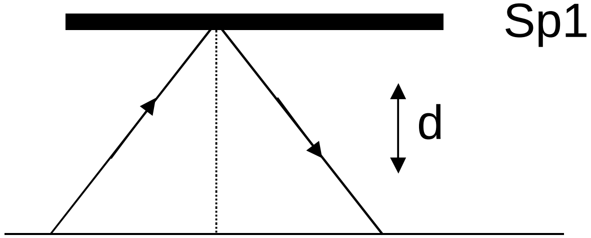


unbewegt



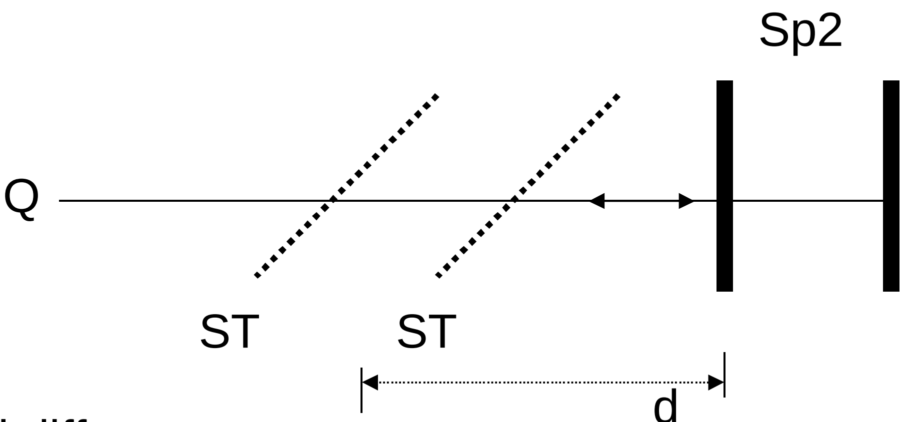
Bewegt in Richtung Q Sp2

Laufzeiten im Interferometer



$$t_1 = \left(\frac{2}{c}\right)\sqrt{d^2 + \frac{1}{4}u^2 \cdot t_1^2}$$

$$\rightarrow \quad t_1 = \frac{2 \cdot d}{\sqrt{c^2-u^2}}$$



$$t_2 = \frac{d}{c-u} + \frac{d}{c+u} = \frac{2 \cdot c \cdot d}{c^2-u^2}$$

Zeitdifferenz:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 2 \cdot d \cdot \left(\frac{c}{c^2-u^2} - \frac{1}{\sqrt{c^2-u^2}}\right) = \frac{d \cdot u^2}{c^3} + \ldots..$$

Phasendifferenz im Spektrometer: $\Delta\Phi = \omega \cdot \Delta t = \frac{2\pi \cdot c \cdot \Delta t}{\lambda} \approx \frac{2\pi \cdot d \cdot u^2}{\lambda \cdot c^2}$

Experiment: d=10m schwimmend in Quecksilber

Ergebnis: $\boxed{\Delta\Phi = 0}$

Bei Bewegung durch den Äther:
$\rightarrow$ Längenkontraktion:

Erklärung?: Fitzgerald+Lorentz

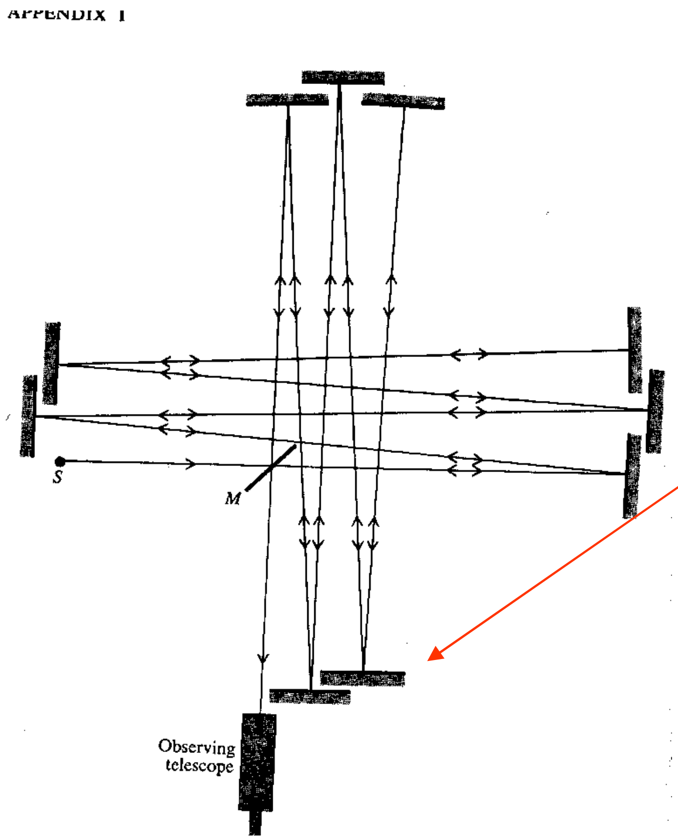
$$L \rightarrow L \cdot \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$$

Endgültige Erklärung durch Einsteins Spezielle Relativitätstheorie, die auf zwei fundamentalen Postulaten fußt:

1) Alle physikalischen Gesetze haben die gleiche Form in allen Inertialsystemen
2) Die Lichtgeschwindigkeit ist gleich in allen Inertialsystemen

Erklärt 0-Resultat

Es gibt keine Möglichkeit die absolute Geschwindigkeit zu messen



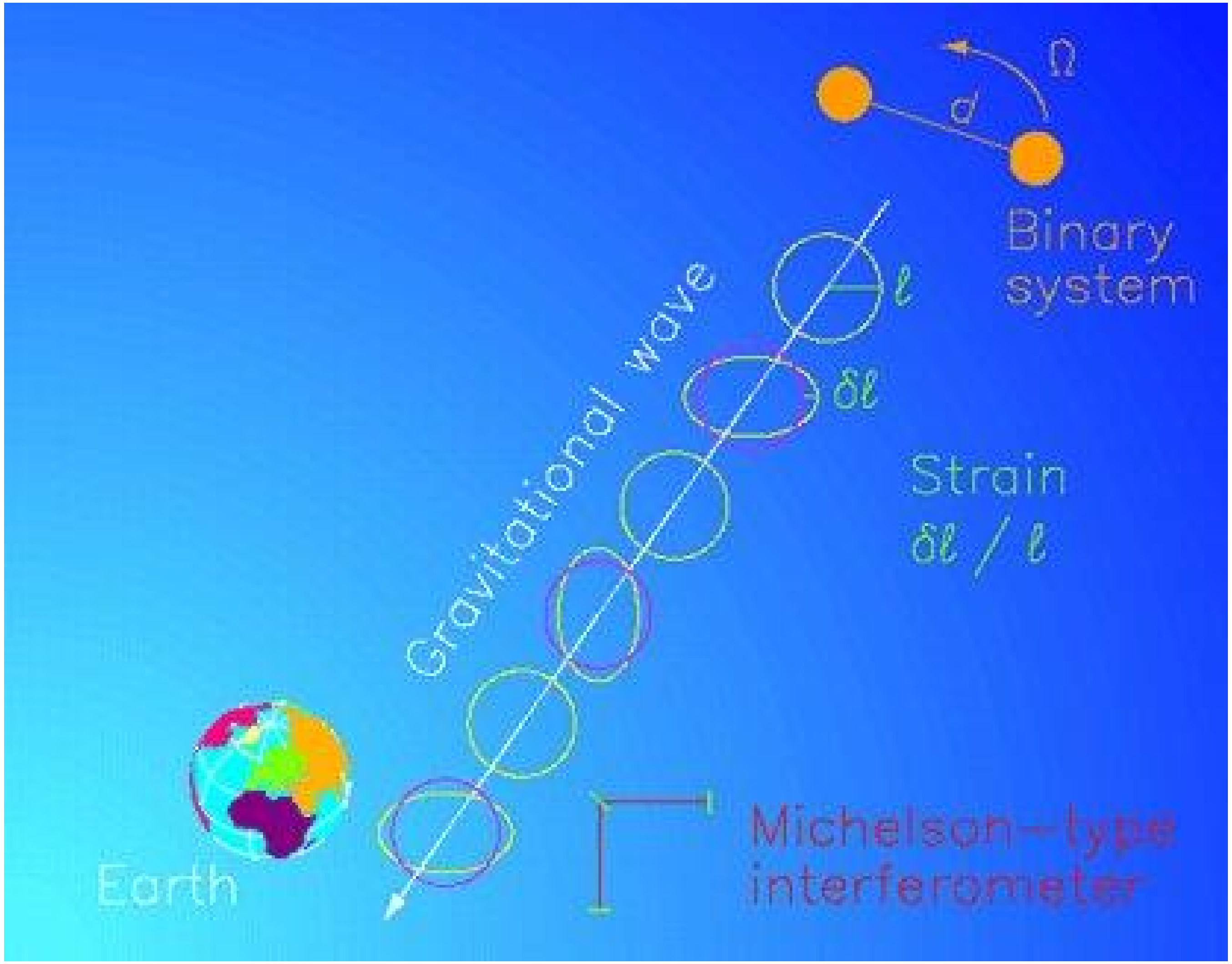
Experimentausführung:

Der ganze Apparat wurde um 90° gedreht, um eine Verschiebung von etwa 0.3 von 2pi zu sehen. Dies hätte einer Geschwindigkeit der Erde von 10^{-4}c entsprochen, was der Umlaufgeschwindigkeit um die Sonne entspricht. Die galaktische Geschwindigkeit ist 10mal höher!!

Benutzt wurde gelbes Licht.

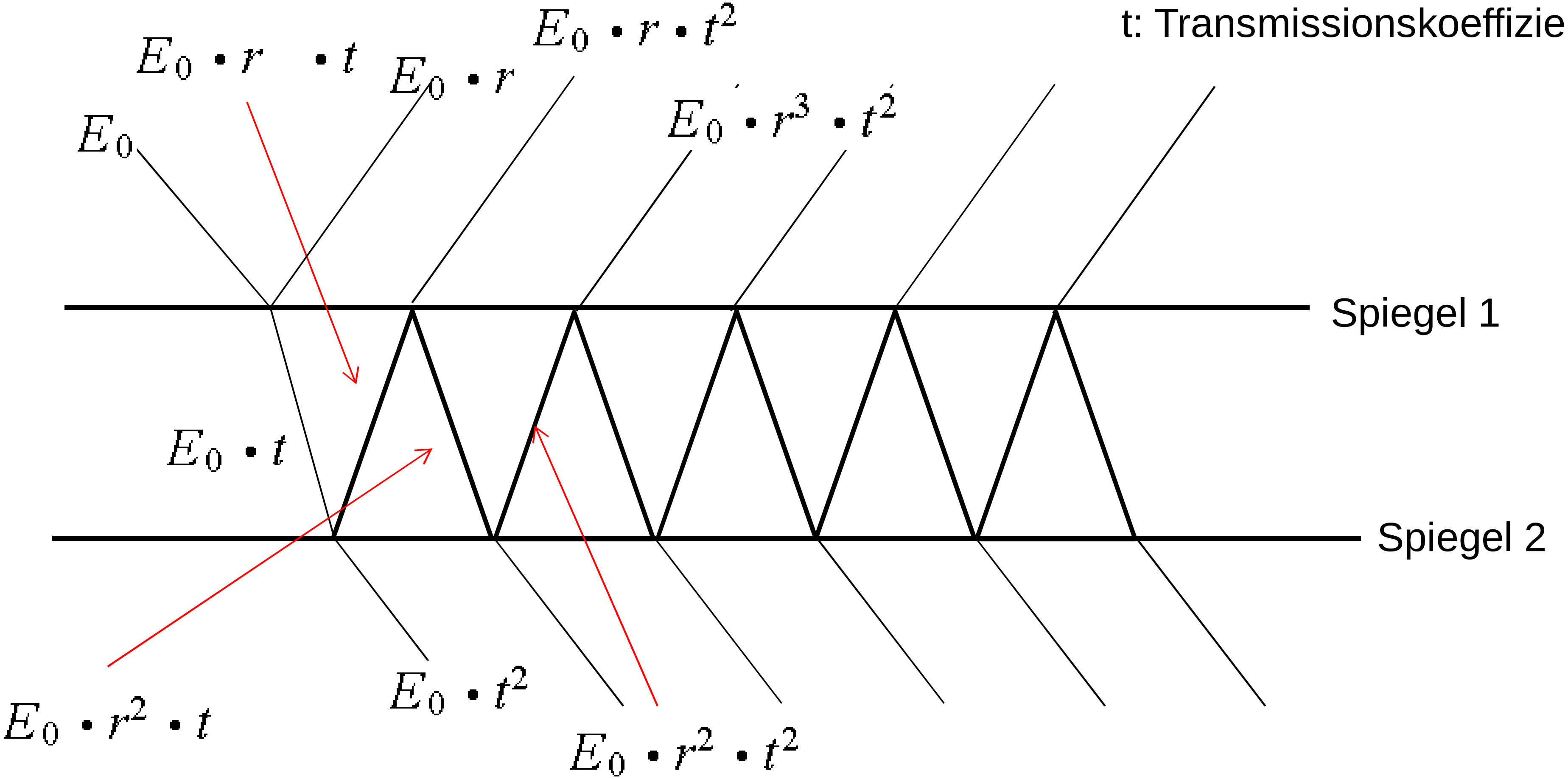
Michelson-Interferometer zur Messung von Gravitationswellen!

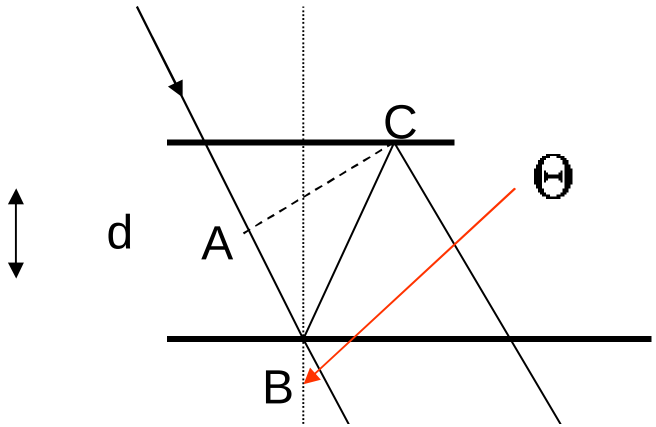
z.B.: GEO 600



Weiteres Beispiel für Vielstrahlinterferenz

r: Reflexionskoeffizient
t: Transmissionskoeffizient





Wegunterschied:

$\overline{ABC} = 2d \cos\Theta$

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2 \cdot d \cdot \cos\Theta$$
$$= \frac{4\pi}{\lambda} \cdot d \cdot \cos\Theta \cdot (n)$$

Falls Medium

Für den durchgehenden Strahl:

$$E_T = E_0 \cdot t^2 + E_0 \cdot r^2 \cdot t^2 \cdot e^{i\delta} + E_0 \cdot r^4 \cdot t^2 \cdot e^{i2\delta} + \ldots$$

$\longrightarrow$ Geometrische Reihe mit $E_T = \frac{E_0 t^2}{1 - r^2 e^{i\delta}}$

Intensität: $I_T = | E_T |^2 \longrightarrow I_T = I_0 \frac{t^4}{|1 - r^2 e^{i\delta}|^2}$

r: Allgemein komplexe Zahl: $\longrightarrow r = | r | \cdot e^{i\delta_r/2}$

Eine Reflexion

Mit R als Reflektivität und T als Transmission:

$$R = | r |^2 = r\, r^* \qquad T = | t |^2 = t \cdot t^*$$

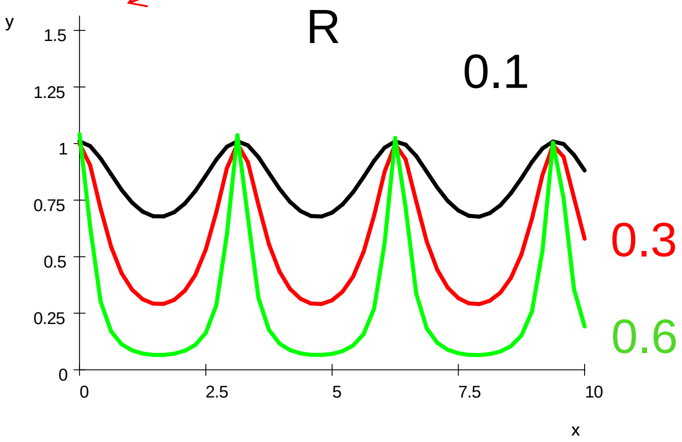
$$\longrightarrow \quad I_T = I_0 \frac{T^2}{|1 - R \cdot e^{i \cdot \Delta}|^2} \qquad \Delta = \delta + \delta_r$$

$$| 1 - R \cdot e^{i \cdot \Delta} |^2 = (1 - R \cdot e^{i\Delta})(1 - R \cdot e^{-i\Delta}) = 1 - R(e^{i\Delta} + e^{-i\Delta}) + R^2$$

$$= 1 - 2R\cos\Delta + R^2 = (1 - R)^2 \left[1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \cdot \sin^2 \frac{\Delta}{2} \right]$$

Formel für die Intensität: $I_T = I_0 \frac{T^2}{(1-R^2)} \frac{1}{1+F\sin^2\frac{\Delta}{2}}$ Airy-Funktion

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



$2N\pi \quad 2(N+1)\pi$

Maximum
In der
Airy-Funktion

$\frac{\Delta}{2} = N \bullet \pi$

Ordnung
der
Interferenz

$\frac{\Delta}{2} = N \bullet \pi$

Δ Ist äquivalent mit

$$2\pi N = \frac{4\pi}{\lambda} d \bullet \cos\Theta + \delta_r$$

Bei verschiedenen Reflexions/Transmissionsfaktoren:

$$T = |\ t_1\ | \bullet |\ t_2\ | = \sqrt{T_1 \bullet T_2}$$

$$R = |\ r_1\ | \bullet |\ r_2\ | = \sqrt{R_1 \bullet R_2}$$

$$\delta_r = \frac{\delta_1+\delta_2}{2}$$

Realisierung:
Fabry-Perot
Etalon