

# Lichtkohärenz und Hanbury Brown Twiss Effekt

---

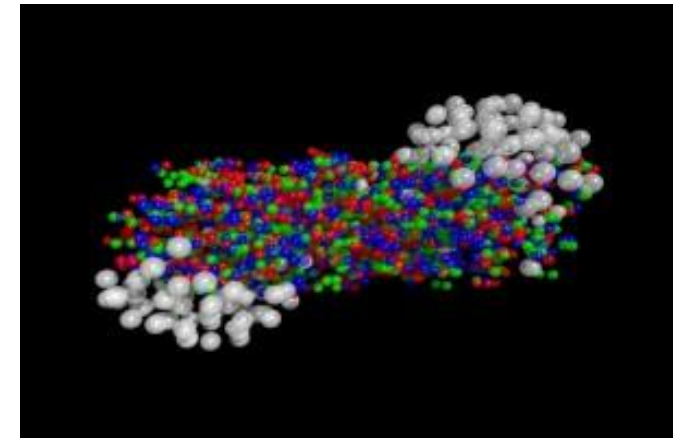
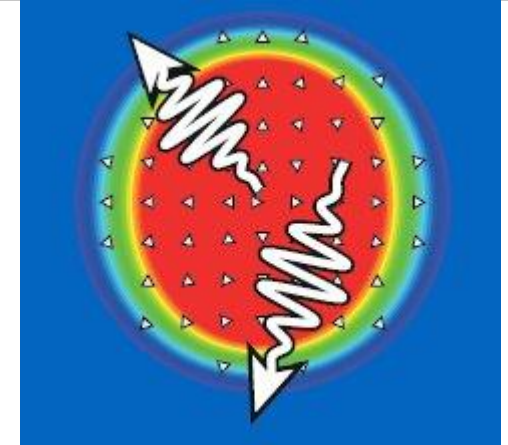
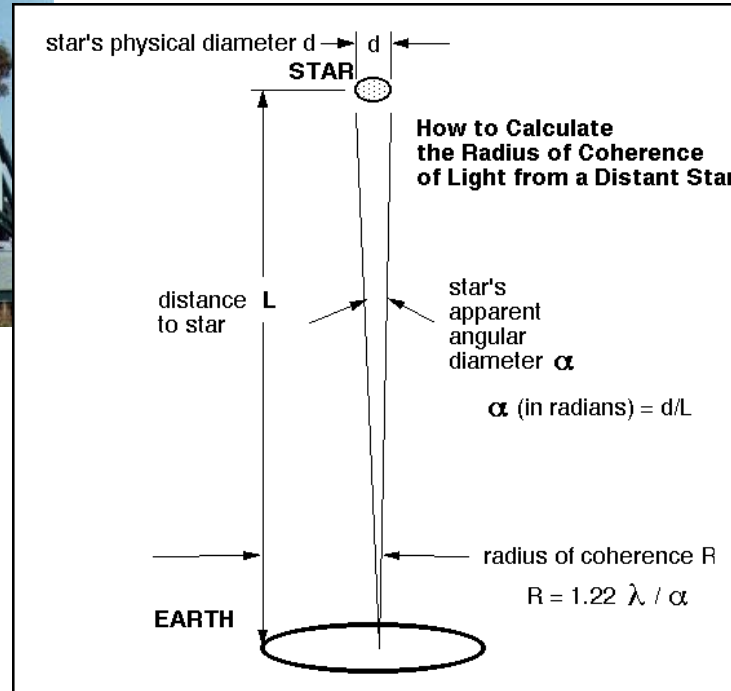
VORTRAG AM 06.07.2015

LISA BALTES

SEMINAR ELEKTRODYNAMIK UND SPEZIELLE RELATIVITÄTSTHEORIE



# Motivation



# Inhaltsverzeichnis

## ■ Kohärenz

- Definition
- Kohärenzzeit/ -länge
- Zeitliche Kohärenz
- Räumliche Kohärenz

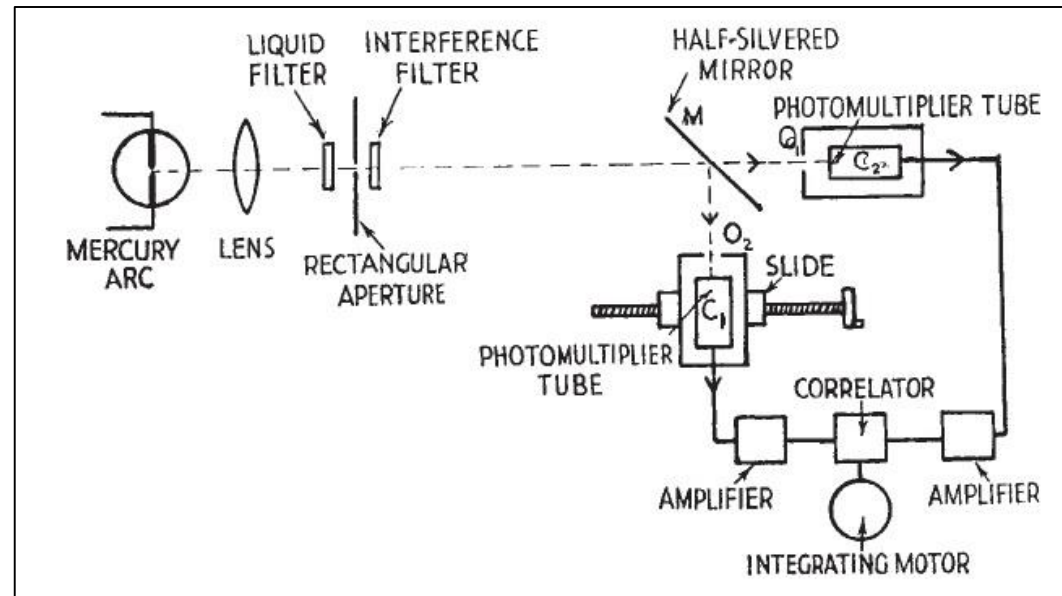
## ■ Korrelation

- Korrelation erster Ordnung
- Korrelation zweiter Ordnung
- Wellenbetrachtung
- QM-Betrachtung



## ■ Anwendung

- Hanbury Brown Twiss Effekt (HBT)
- Schwerionen-Kollision

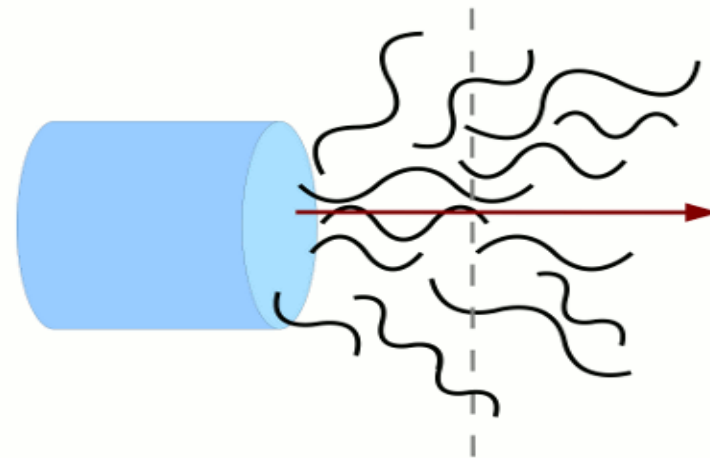
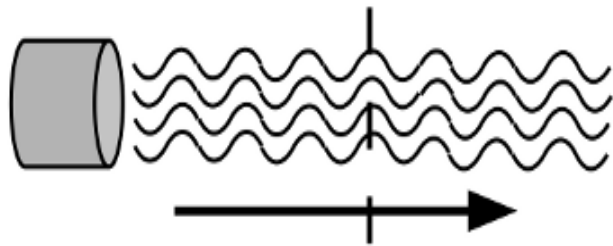


# Kohärenz

---

- Eigenschaft von Wellen, deren Auslenkung sich zeitlich auf dieselbe Weise ändert
- Feste Phasenbeziehung
- Interferenzerscheinungen

↔ Inkohärenz



# Kohärenzzeit/ -länge

---

- Durchschnittliche Länge der einheitlichen Schwingungen zwischen zwei Phasensprüngen

→ Wellenzug

- Kohärenzzeit: Zeit, in der sich Welle um Kohärenzlänge weiterbewegt

→  $l_c = c * T_c$

- Quasimonochromatische Lichtquelle: Serie endlicher Wellenzüge mit Varianz in  $\nu$  und  $A$

→ 
$$\Delta\nu \sim \frac{1}{T_c} = \frac{c}{l_c}$$

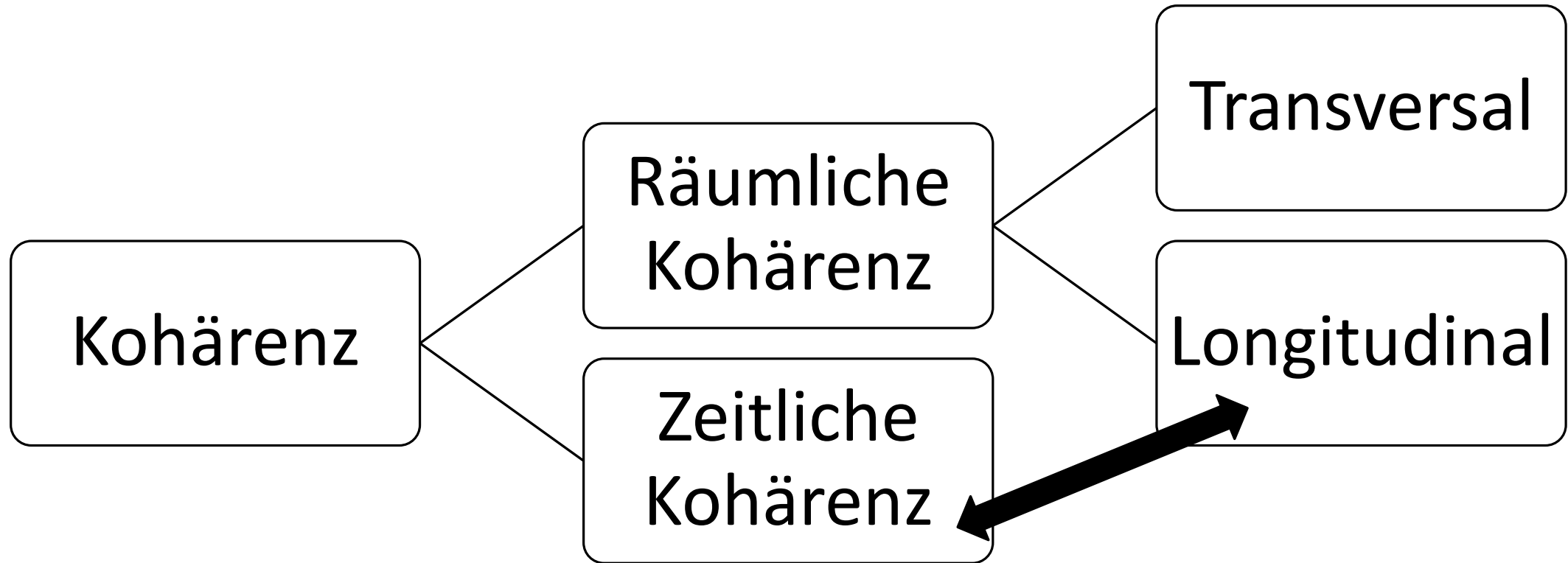
- Zeitliche Intervall, in welchem die Phase vorhersagbar ist

- Gewöhnliche Lichtquelle → inkohärent

- Feste Phasenbeziehung maximal über die Wellenzuglänge

# Überblick

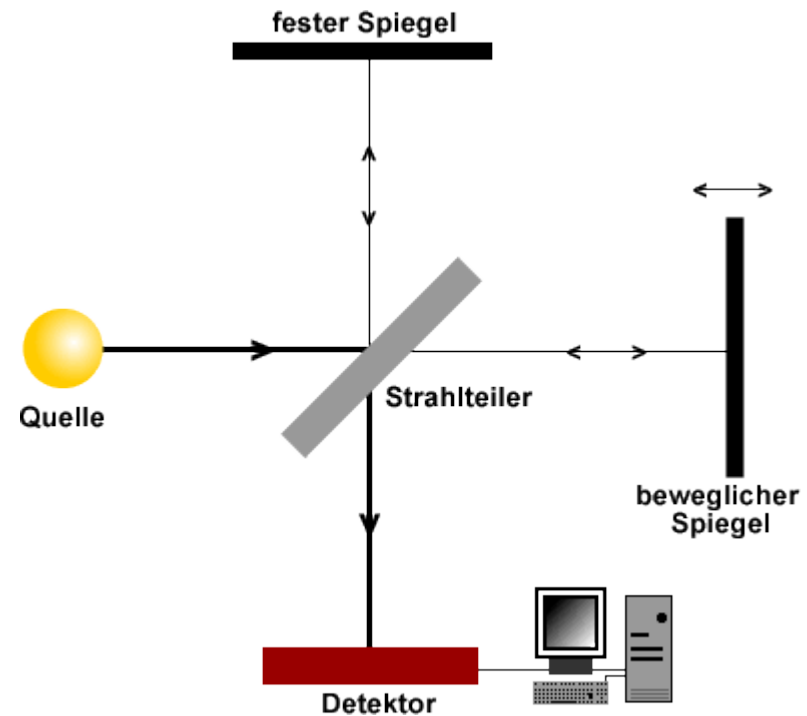
---



# Zeitliche Kohärenz

---

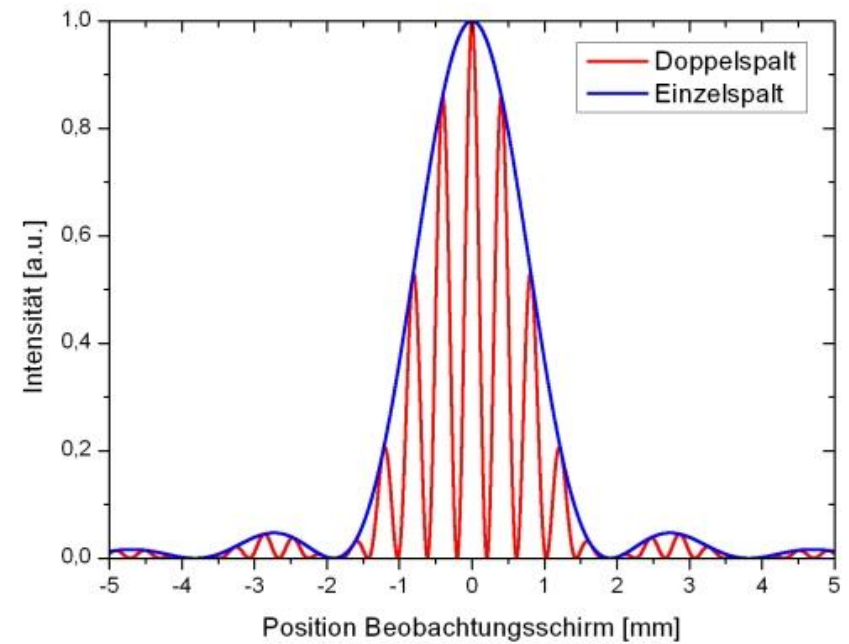
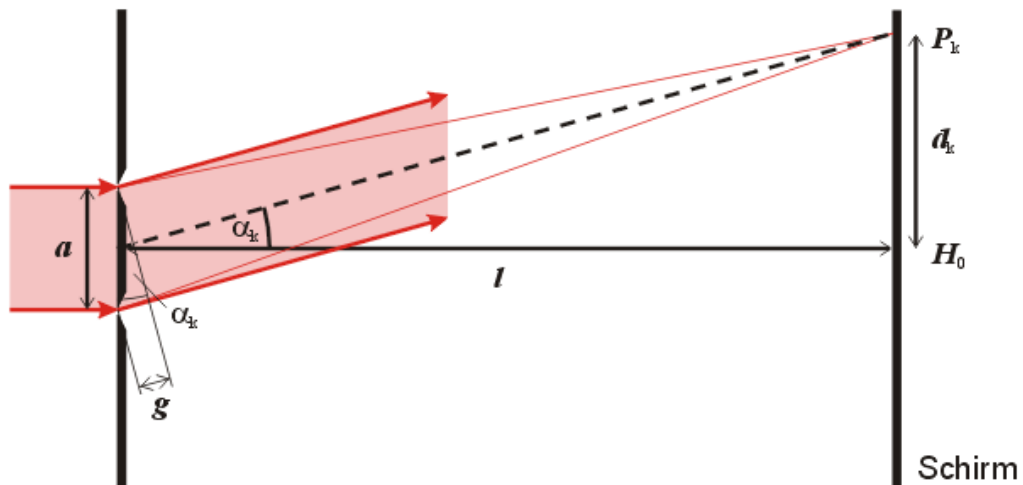
- Welle zu zeitlicher Kopie ihrer selbst kohärent
- In Ausbreitungsrichtung
- Z.B. Michelson-Interferometer



# Räumliche Kohärenz

- Longitudinal = zeitlich
- Transversal: senkrecht zur Ausbreitungsrichtung
- Z.B. Doppelspaltexperiment

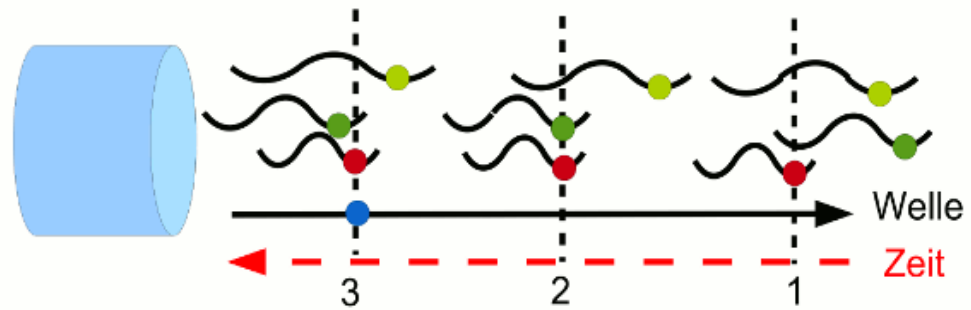
$$\rightarrow l_c = \frac{2\pi}{\Delta k} = \frac{\lambda}{\Delta\theta}$$



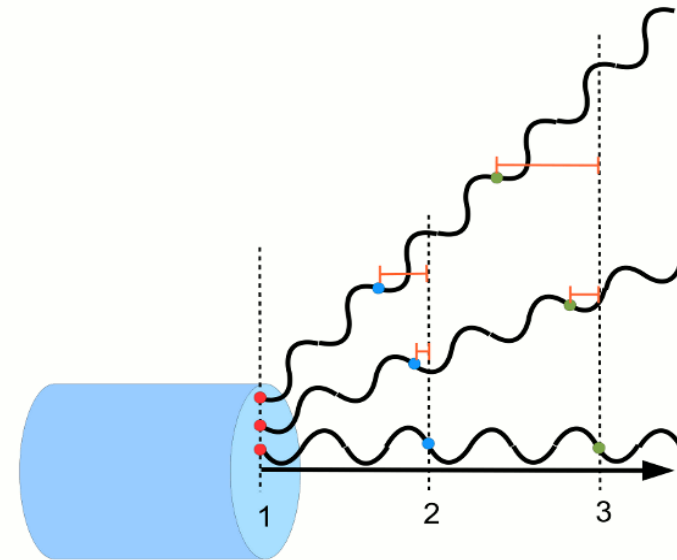


# Vergleich

Parallele Wellen sind transversal kohärent



Monochromatisches Licht ist zeitlich kohärent



# Inhaltsverzeichnis

---

## ■ Kohärenz

- Definition
- Kohärenzzeit/ -länge
- Zeitliche Kohärenz
- Räumliche Kohärenz

## ■ Korrelation

- Erste Ordnung
- Zweite Ordnung
- Wellenbetrachtung
- QM-Betrachtung

## ■ Anwendung

- Hanbury Brown Twiss Effekt (HBT)
- Schwerionen-Kollision

**Wie kann man  
Kohärenz  
quantifizieren?**

# Korrelation

---

- Kohärenz als Konzept, um Korrelation zwischen zwei Lichtquellen zu messen
- Korrelationsfunktion als Maß der Kohärenz

# Korrelation erster Ordnung

---

- Allgemeine Korrelationsfunktion erster Ordnung:

$$\rightarrow g^{(1)}(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \tau) = \frac{\langle E^*(\vec{r}_1, t) * E(\vec{r}_2, t + \tau) \rangle}{\langle E^*(\vec{r}_1, t) * E(\vec{r}_2, t) \rangle} \text{ mit } \tau = \frac{|\vec{r}_2 - \vec{r}| - |\vec{r}_1 - \vec{r}|}{c}.$$

- Zeitliche Korrelationsfunktion erster Ordnung:

$$\rightarrow g^{(1)}(\tau) = \frac{\langle E^*(\vec{r}, t) * E(\vec{r}, t + \tau) \rangle}{\langle E^*(\vec{r}, t) * E(\vec{r}, t) \rangle}$$

- Amplitudenkorrelation

- $g^{(1)}(\tau)$  entspricht Fourier-Trafo der spektralen Intensitätsverteilung

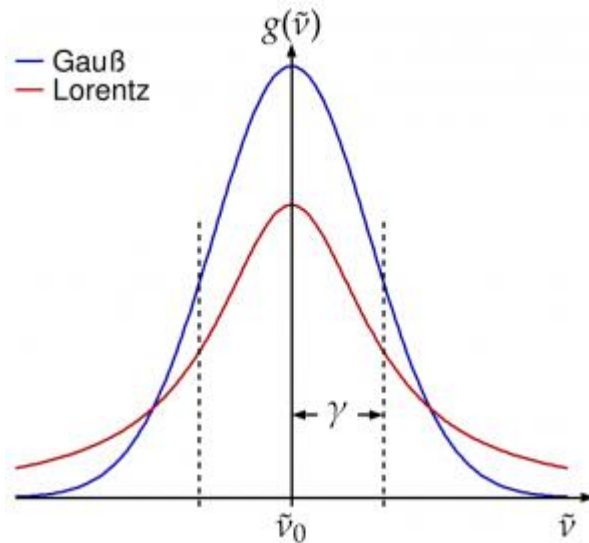
$$F(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} g^{(1)}(\tau) e^{i\omega\tau} d\tau$$

# Beispiele

- Thermische Quelle (Lorentzverteilung)

$$\rightarrow I(\omega) = I_0 \frac{a}{\frac{\Gamma^2}{4} + (\omega - \omega_0)^2}$$

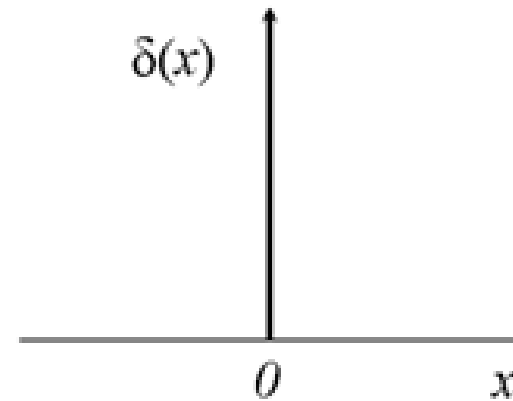
$$\rightarrow g^{(1)}(\tau) \sim e^{-\Gamma|\tau|}$$



- Ebene Welle

$$\rightarrow I(\omega) = I_0 * \delta(\omega - \omega_0)$$

$$\rightarrow g^{(1)}(\tau) = e^{-i\omega_0\tau}$$



# Korrelation zweiter Ordnung

- Allgemeine Korrelationsfunktion zweiter Ordnung:

$$\rightarrow g^{(2)}(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \tau) = \frac{\langle E^*(\vec{r}_1, t) * E^*(\vec{r}_2, t + \tau) * E(\vec{r}_1, t) * E(\vec{r}_2, t + \tau) \rangle}{\langle E^*(\vec{r}_1, t) * E(\vec{r}_1, t) \rangle \langle E^*(\vec{r}_2, t) * E(\vec{r}_2, t) \rangle} = \frac{\langle I(\vec{r}_1, t) * I(\vec{r}_2, t + \tau) \rangle}{\langle I(\vec{r}_1, t) \rangle \langle I(\vec{r}_2, t) \rangle}$$

$$\text{Mit } \tau = \frac{|\vec{r}_2 - \vec{r}| - |\vec{r}_1 - \vec{r}|}{c}$$

- Zeitliche Korrelationsfunktion zweiter Ordnung:

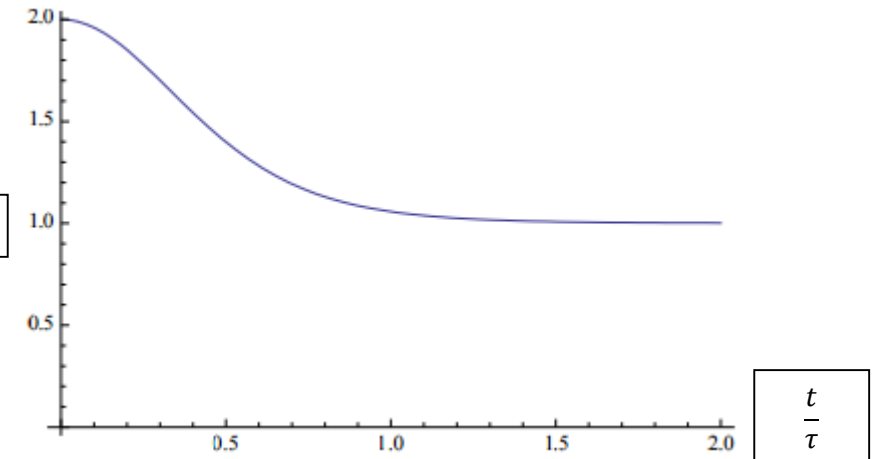
$$\rightarrow g^{(2)}(\tau) = \frac{\langle E^*(t) * E^*(t + \tau) * E(t) * E(t + \tau) \rangle}{\langle E^*(t) * E(t) \rangle^2} = \frac{\langle I(t) * I(t + \tau) \rangle}{\langle I(t) \rangle^2}$$

- Intensitätskorrelation

- „chaotische“ Quellen:

$$g^{(2)}(\tau) = 1 + |g^{(1)}(\tau)|^2$$

- Wichtige Informationen:  $g^{(2)}(0) = 2$ ,  $g^{(2)}\left(\frac{t}{\tau} \rightarrow \infty\right) = 1$



→ Photon bunching

# Korrelation zweiter Ordnung-HBT

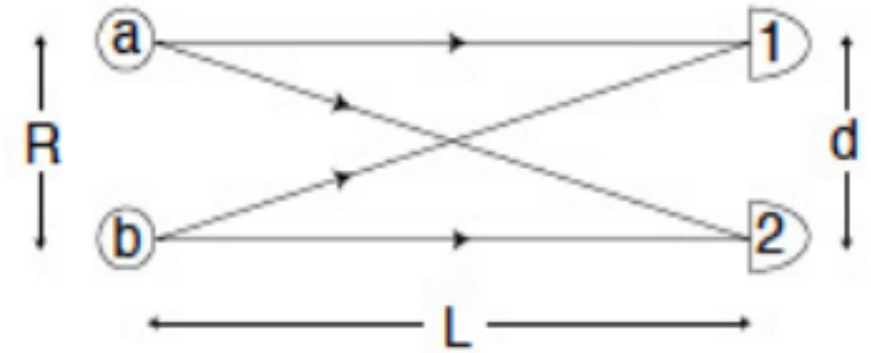
- Klassisches Bild (Wellen):

$$\rightarrow g^{(2)}(d) = 1 + 2 * \frac{\langle |\alpha|^2 \rangle \langle |\beta|^2 \rangle}{[\langle |\alpha|^2 \rangle + \langle |\beta|^2 \rangle]^2} * \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} * d * \theta\right)$$

- Quantenmechanisches Bild:

$$\bullet P_d = |\langle a | 1 \rangle \langle b | 2 \rangle|^2 + |\langle a | 2 \rangle \langle b | 1 \rangle|^2 = 2 * |\tilde{a}|^2 |\tilde{b}|^2$$

$$\bullet P_i = |\langle a | 1 \rangle \langle b | 2 \rangle + \langle a | 2 \rangle \langle b | 1 \rangle|^2 = |2\tilde{a}\tilde{b}|^2 = 4 * |\tilde{a}|^2 |\tilde{b}|^2 = 2 * P_d$$



→ Hanbury Brown Twiss Effekt

# Inhaltsverzeichnis

## ■ Kohärenz

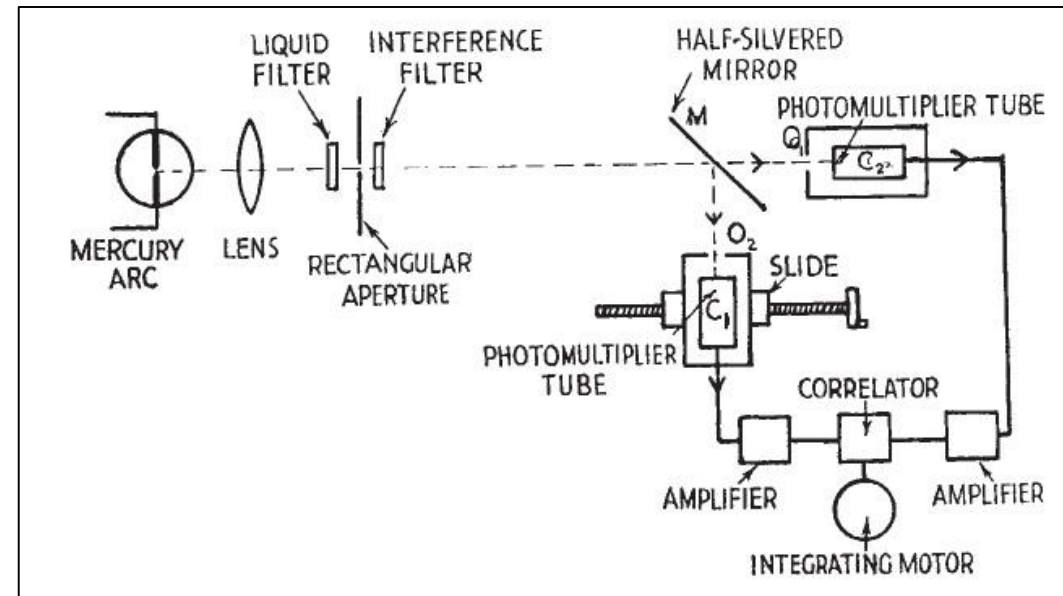
- Definition
- Kohärenzzeit/ -länge
- Zeitliche Kohärenz
- Räumliche Kohärenz

## ■ Korrelation

- Erste Ordnung
- Zweite Ordnung
- Wellenbetrachtung
- QM-Betrachtung

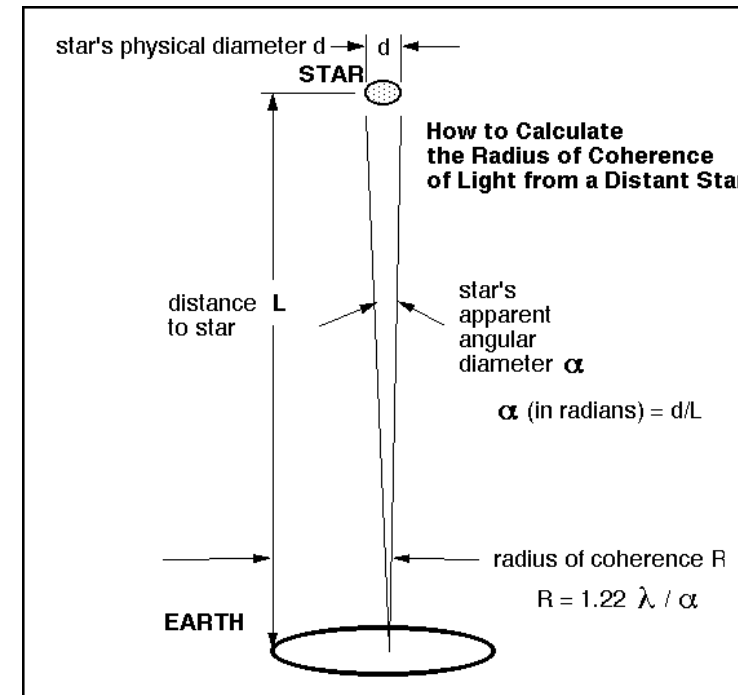
## ■ Anwendung

- Hanbury Brown Twiss Effekt (HBT)
- Schwerionen-Kollision





# Hanbury Brown Twiss Effekt



# Hanbury Brown Twiss Effekt

---

Name	Magnitude	Entfernung	Winkel- durchmesser	Kohärenz-Radius
Sonne	-26,7	Sehr nah	½ Grad	0,08 mm
Vollmond	-12,7	Sehr nah	½ Grad	0,08 mm
Sirius	-1,42	8,7 Ly	5,6 milli arcsec	70 Fuß
Vega	0,04	26,5 Ly	3,1 milli arcsec	139 Fuß

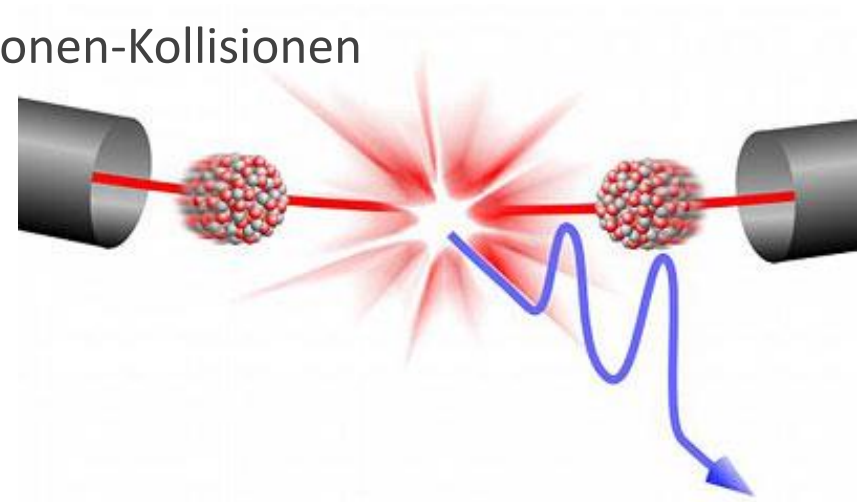
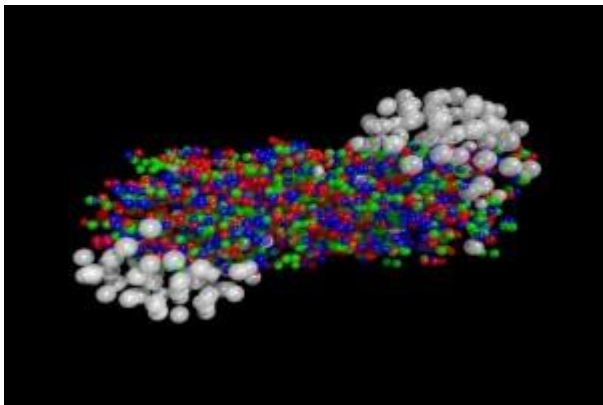
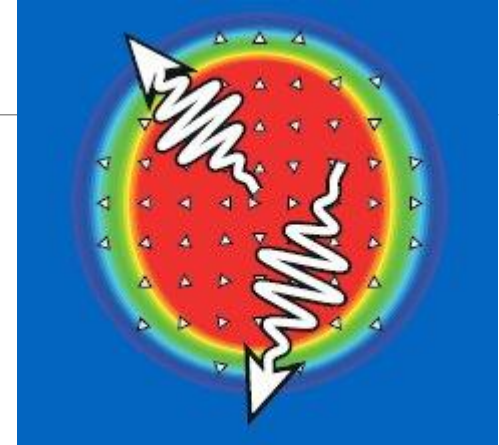
# Hanbury Brown Twiss Effekt

---

- Korrelationsfunktion zweiter Ordnung → Intensitätskorrelation
- 1956: Robert Hanbury Brown und Richard Twiss
  - Ziel: Bestimmung des Durchmessers eines Sterns
- Räumliche Korrelation
  - $\Delta\theta = \frac{\lambda}{l_c}$
- Messung der zeitlichen Korrelation im Labor (Quecksilberlampe)
  - **inkohärente Lichtquellen haben Intensitätskorrelation**

# Schwerionen-Kollision

- Voraussetzungen des frühen Universums: Quark-Gluon-Plasma
  - Gold- oder Blei-Ionen Kollision
- Energien von einigen Trillionen eV
  - Temperaturen 100.000mal heißer als die Sonne
- Untersuchung der Raum- und Zeitgeometrie von Schwerionen-Kollisionen



# Zusammenfassung

---

## ■ Kohärenz

- → feste Phasenbeziehung
- Kohärenzlänge/ -zeit:  $l_c = c * T_c$
- Zeitliche Kohärenz: in Ausbreitungsrichtung (monochromatisch)
- Räumliche Kohärenz: longitudinal und transversal (parallel)

## ■ Hanbury Brown Twiss

- Intensitätskorrelation inkohärenter Lichtquellen
- Astronomie

## ■ Korrelation

- Korrelationsfunktion erster Ordnung → Amplitude
- Korrelationsfunktion zweiter Ordnung → Intensität
- Zusammenhang:  $g^{(2)}(\tau) = 1 + |g^{(1)}(\tau)|^2$

## ■ Schwerionen-Kollision

- Untersuchung der Voraussetzungen des frühen Universums

# Quellen

---

- (1) [http://www.quantum.physik.uni-mainz.de/Dateien/lectures\\_2004\\_ss04\\_quantenoptikseminar\\_hanburybrowntwiss.pdf](http://www.quantum.physik.uni-mainz.de/Dateien/lectures_2004_ss04_quantenoptikseminar_hanburybrowntwiss.pdf)
- (2) <http://faculty.virginia.edu/austen/HanburyBrownTwiss.pdf>
- (3) <http://arxiv.org/pdf/nucl-th/9804026v2.pdf>
- (4) <https://de.wikipedia.org/>
- (5) <http://www.physik.wissenstexte.de/kohaerenz.htm>
- (6) <http://home.web.cern.ch/about/physics/heavy-ions-and-quark-gluon-plasma>
- (7) <http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-10607-2009-10-06.html>
- (8) <http://www.fp.fkp.uni-erlangen.de/praktikumsversuche-master/BSc-Versuchsanleitungen/B45.pdf>