PAP 2.1
Versuch 232: "Michelsoninterferometer"

Jonas Schweer

16. März 2025

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **2**
- 1.1 Ziel des Versuchs . . . 2
- 1.2 Versuchsaufbau . . . 2
- 1.3 Physikalische Grundlagen . . . 3
  - 1.3.1 Interferenz . . . 3
  - 1.3.2 Kohärenz und Kohärenzlänge . . . 4
  - 1.3.3 Interferenz gleicher Neigung . . . 4
  - 1.3.4 Interferenz gleicher Dicke . . . 4
  - 1.3.5 Berechnungen mit Michelsoninterferometer . . . 5

2 Messprotokoll **5**

3 Auswertung **8**
- 3.1 Aufgabe 1: Wellenlänge des grünen Lasers . . . 8
- 3.2 Aufgabe 2: Bestimmung des Brechungsindex von Luft . . . 8
- 3.3 Aufgabe 3: Kohärenzlänge einer Leuchtdiode . . . 10

4 Zusammenfassung und Diskussion **11**

5 Anhang **13**

1 Einleitung

Anmerkung: Alle Bilder, welche in diesem Abschnitt verwendet wurden, sind aus dem Praktikumsskript übernommen worden.
Quelle: 'Physikalisches Praktikum PAP2.2 für Studierende der Physik B.Sc' - Jens Wagner, Februar 2025

1.1 Ziel des Versuchs

In diesem Versuch wollen wir unter Verwendung eines Michelsoninterferometers die Wellenlänge eines Lasers bestimmen. Anschließend wollen wir den Brechungsindex von Luft bestimmen. Im letzten Versuchsteil bestimmen wir noch die Kohärenzlänge einer Leuchtdiode.

1.2 Versuchsaufbau

Alle Versuchsteile werden mit einem Michelsoninterferometer durchgeführt:

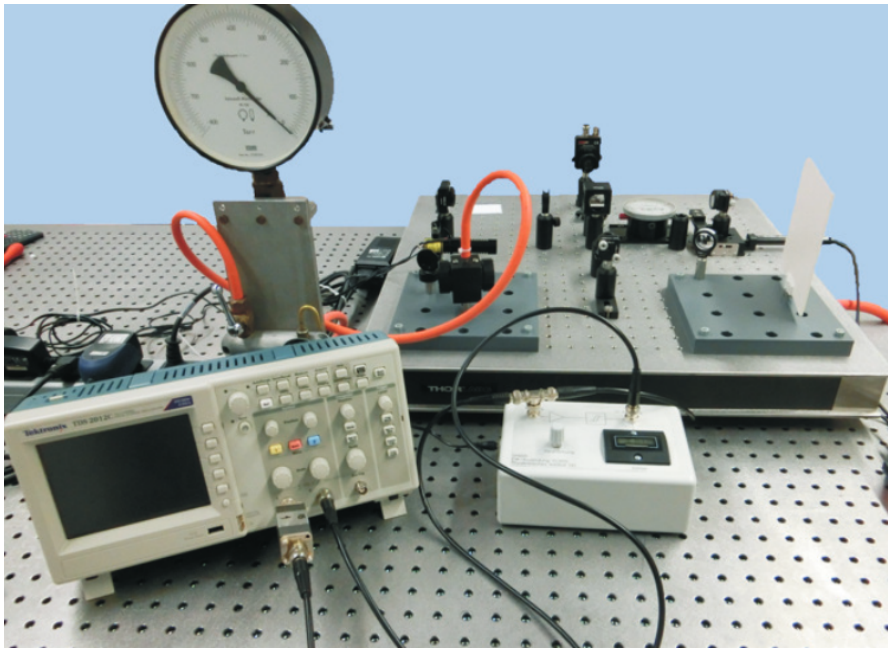


Abbildung 1: Bild des Interferometers

Dieses besteht aus einer Lichtquelle, welche auf einen Strahlenteiler leuchtet. Dieser teilt die Strahlen (wie der Name schon vermuten lies) auf, sodass die eine Hälfte gerade passieren kann, und die andere Hälfte um 90° abgelenkt wird. Die gerade passierenden Strahlen treffen nach einer Distanz s auf einen beweglichen Spiegel, welcher die Distanz s um Δx verlängern oder verkürzen kann. Die anderen Strahlen treffen auf einen kippbaren Spiegel, welcher ebenfalls bei Distanz s platziert ist. Wenn die Strahlen von ihrem jeweiligen Weg wieder zurückkommen, passieren sie den Strahlenteiler erneut und 50% von ihnen treffen auf einen Schirm oder einen Detektor. Dieser Aufbau ist hier skizziert:

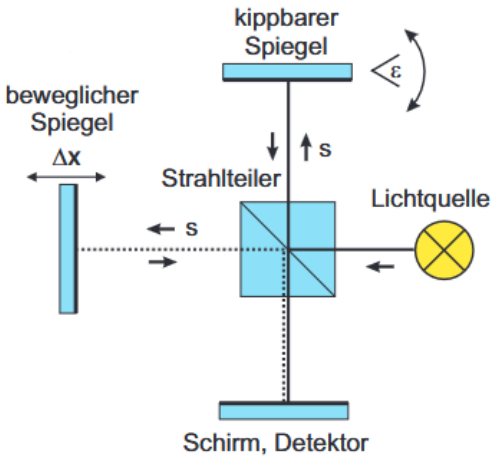


Abbildung 2: Skizze des Interferometers

Für den zweiten Versuchsteil stellen wir eine Küvette gefüllt mit Luft in den Strahlengang zwischen Strahlenteiler und festem Spiegel. Diese Küvette ist an einem Barometer und einer Vakuumpumpe angeschlossen. Somit können wir den Druck in ihr kontrollieren und messen. Der Detektor, in welche das Licht am Ende seines Weges fällt, ist mit einem Oszilloskop und einem Impulszähler verbunden.

1.3 Physikalische Grundlagen

1.3.1 Interferenz

Treffen zwei Wellen in einem Punkt aufeinander, in dem sie eine konstante Phasenbeziehung haben, kommt es zu Interferenz. Die beiden Wellen überlagern sich und bilden nach dem Superpositionsprinzip eine neue Welle. Die Amplitude dieser neuen Welle entsteht also aus Addition der beiden einfallenden Wellen. Sie hängt dann von der Phasenverschiebung ab. Die maximale Amplitude, und damit auch die Maximale Intensität, erhält man bei einem Phasenunterschied von $\varphi = 2\pi m\,, m \in \mathbb{Z}$, auch bezeichnet als *konstruktive Interferenz*. Zur *destruktiven Interferenz*, also zur minimalen resultierenden Amplitude kommt es, wenn für den Phasenunterschied gilt: $\varphi = (2m+1)\pi\,, m \in \mathbb{Z}$. Wenn nun also zwei Wellen unterschiedliche Weglängen durchlaufen haben (und vorher in Phase waren), so kann man die Bedingung für konstruktive und destruktive Interferenz auch über diesen Gangunterschied $\Delta = \Lambda_1 - \Lambda_2$ formulieren:

$$\textbf{Maximale Intensität: } \Delta = m\lambda\,, m \in \mathbb{Z} \tag{1}$$

$$\textbf{Minimale Intensität: } \Delta = (2m+1)\frac{\lambda}{2}\,, m \in \mathbb{Z} \tag{2}$$

Dabei ist λ die Wellenlänge. Wichtig zu beachten ist allerdings, dass man nicht die geometrische Weglänge s verwenden darf, sondern eben die optische Weglänge $\Lambda = ns$ nutzen muss. Diese multipliziert die geometrische Weglänge in einem Medium mit dem Brechungsindexes n dieses Mediums. So kompensiert man für die unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten.

1.3.2 Kohärenz und Kohärenzlänge

Damit Wellen interferieren können, müssen sie kohärent sein, also eine konstante Phasenbeziehung haben. Das ist bei den meisten Lichtquellen nicht unbedingt gegeben, bei ihnen hast die Phasenverschiebung lediglich statistisch verteilt. Wenn man allerdings eine Doppellochblende oder einen Strahlenteiler nutzt, entstehen zwei gleichphasige Wellenfronten. Diese können nun miteinander interferieren. Allerdings darf der Gangunterschied dieser beiden Wellen nicht länger als die *Kohärenzlänge* L sein. Die Kohärenzlänge kann man als Länge des gesendeten Wellenpakets ansehen. Wenn der Gangunterschied länger als diese Kohärenzlänge ist, treffen die beiden Wellenfronten gar nicht erst aufeinander um miteinander zu interferieren, es entsteht also kein Interferenzmuster. Die *Kohärenzzeit* τ wird analog definiert. Sie ist die Zeitspanne, in der ein einzelnes Wellenpaket emittiert wird. Da sich Licht mit der Lichtgeschwindigkeit c bewegt, kann man also die Kohärenzlänge berechnen durch:

$$L = c\tau \tag{3}$$

Da in echt kein monochromatisches Licht existiert, müssen wir uns anschauen, was mit einer Lichtquelle passiert, die eine endliche spektrale Bandbreite $\Delta\omega$ um ω_0 aufweist. Führen wir von solch einem Licht eine Fouriertransformation durch, so sehen wir für die Darstellung als Überlagerung von Wellen:

$$E_S = \int_{-\Delta\omega/2}^{\Delta\omega/2} g_0 \exp\left[i\omega(t - z/c)\right] \, \mathrm{d}\omega \tag{4}$$

Führt man dieses Integral aus, so sieht man, dass nahezu die gesamte Intensität im Hauptmaximum vorhanden ist. Wir nehmen also an, dass das Wellenpaket endlicher Breite ist, nämlich $4\pi c/\Delta\omega$. So kann man eine weitere Definition der Kohärenzlänge festlegen:

$$L = \frac{2\pi c}{\Delta\omega} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} \tag{5}$$

1.3.3 Interferenz gleicher Neigung

Trifft licht auf eine transparente, planparallele Platte mit Brechungsindex n unter dem Winkel α, so kann man durch einige geometrische und physikalische Überlegungen die Formel für den Gangunterschied der parallelen ausfallenden Strahlen herleiten als:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} - \frac{\lambda}{2} \tag{6}$$

1.3.4 Interferenz gleicher Dicke

Wenn parallele Lichtbündel stattdessen auf eine keilförmige Platte treffen, verlaufen sie anschließend nicht mehr Parallel. Bei einem klein genug gewähltem Keilwinkel ϵ, so ist der Gangunterschied der ausfallenden Stahlen:

$$\Delta \approx 2d(x)\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} - \frac{\lambda}{2} \tag{7}$$

wobei $d(x)$ die Dicke des Keils an einem bestimmten Ort ist.

1.3.5 Berechnungen mit Michelsoninterferometer

Wird das Licht durch den Strahlenteiler geteilt und dann an den beiden parallelen Spiegeln reflektiert, so kommt es zu Interferenz gleicher Neigung. Dadurch folgt nach Formel (6) mit einem Brechungsindex von $n = 1$ und einem senkrechten Einfall ($\alpha = 0$):

$$\Delta = 2\Delta x \cos(\alpha) - \frac{\lambda}{2} \overset{\alpha=0}{=} 2\Delta x - \frac{\lambda}{2} \tag{8}$$

Verschiebt man den Spiegel, so kann man nun aus der Anzahl der durchlaufenen Maxima Δm die Wellenlänge bestimmen:

$$\lambda = 2\frac{\Delta x}{\Delta m} \tag{9}$$

Wenn wir im zweiten Versuchsteil nun die Küvette einbauen, so ändern wir den Druck, damit den Brechungsindex und somit die optische Weglänge. Bei einer Änderung des Brechungsindex um Δn ändert sich der Gangunterschied bei einer Länge der Küvette von a:

$$\Delta = 2a\Delta n \tag{10}$$

Wenn wir nun die durchlaufenen Interferenzmaxima zählen, so erhalten wir mit $\Delta = \lambda\Delta m$:

$$\Delta n = \frac{\lambda}{2a}\Delta m \tag{11}$$

Wenn wir nun also eine Messung von $p = 0$ (Vakuum) bis $p = b$ (Luftdruck) durchführen, so ist der Brechungsindex:

$$n(\lambda, T, b) - 1 = \frac{\lambda}{2a}\Delta m(b) \tag{12}$$

2 Messprotokoll

Messprotokoll 232: Michelson - Interferometer

19.02.25
Harish Mahendran
Jonas Schweer

Messaufbau

- Michelson - Interferometer
- Laser, Leuchtdiode
- Thermometer
- Valcuumpumpe

Aufgabe 1: Wellenlängenmessung des Lasers

Zunächst richten wir den Messaufbau wie in der Anleitung beschrieben ein. Wir notieren die Startposition des beweglichen Spiegels und starten anschließend den Messvorgang. Nach ca. 3mm Bewegung notieren wir die Endposition und die Anzahl der gemessenen Impulse. Wir messen fünf mal.

s_a [µm]	3002	1000	5000	800	4200
s_e [µm]	2	4003	2001	3800	1193
m	11291	11530	11306	11314	11344

Tabelle 1: Anzahl Impulse bei Fahrtweiten

Die Herstellerangaben der Messuhr zur Genauigkeit lauten wie folgt:

Bei 3 mm $\rightsquigarrow \pm 9$ µm ✓

Aufgabe 2: Brechungsindex von Luft

Nun stellen wir eine Küvelle mit einstellbarem Druck in den Strahlenweg des Lasers. Wir senken langsam den Druck und alle 5 durchlaufene Ringe notieren wir den momentan eingestellten Druck. Die Messung führen wir 3 mal durch.

Durchlaufene Ringe	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Messung 1 Druck [torr]	715	610	565	490	410	330	255	180	100	30
Messung 2 Druck [torr]	700	630	560	480	400	330	250	175	100	25
Messung 3 Druck [torr]	700	630	550	470	395	320	245	170	95	25

Tabelle 2: Druck pro 5 Interferenzmaxima; Fehler: ±3 torr
nicht ganz

Die Zimmertemperatur Lautet: $T = (24{,}30 \pm 0{,}10)\,^{\circ}C$

Aufgabe 3: Kohärenzlänge einer Leuchtdiode

Wir entfernen die Küvette und tauschen den Laser mit einer Leuchtdiode aus.

Den beweglichen Spiegel bringen wir in die auf dem Versuchsaufbau notierte Weißlichtposition und suchen anhand des Oszilloskops das Interferenzmuster und optimieren es mit den Spiegeln. Dann nehmen wir mit dem Oszilloskop den Signalverlauf beim Durchfahren auf.

Weißlichtposition: 1,6 mm

H. Lautz

3 Auswertung

3.1 Aufgabe 1: Wellenlänge des grünen Lasers

Um die Wellenlänge zu bestimmen, müssen wir zuerst die Abstände bestimmen, die wir mit dem Spiegel abgedeckt haben. Dafür nehmen wir unsere Messwerte aus Tabelle 1 des Messprotokolls und berechnen:

$$\Delta x = |s_a - s_e| \tag{13}$$

Da sowohl der Anfangs als auch Endwert der Messung einen Fehler von $\pm 9\mu$m mitbringt, müssen wir den Gesamtfehler mittels quadratischer Addition bestimmen:

$$\Delta(\Delta x) = \sqrt{\Delta s_a^2 + \Delta s_e^2} = \sqrt{2} \cdot 9\mu\text{m} \tag{14}$$

Somit können wir auch für alle Messreihen die Wellenlänge nach Formel (9) bestimmen. Der Fehler folgt nach Gauß als:

$$\Delta\lambda = 2\frac{\Delta(\Delta x)}{\Delta m} \tag{15}$$

In einer Tabelle dargestellt sind unsere Werte für die Wellenlänge dann:

Messung	1	2	3	4	5
Δx [mm]	3.000 ± 0.013	3.003 ± 0.013	2.999 ± 0.013	3.000 ± 0.013	3.007 ± 0.013
λ [nm]	531.4 ± 2.3	520.9 ± 2.2	530.5 ± 2.2	530.3 ± 2.2	530.1 ± 2.2

Tabelle 1: Distanz und Wellenlängen der einzelnen Messreihen

Um nun einen Wert für die Wellenlänge zu erhalten, mitteln wir sowohl die Wellenlängenwerte als auch ihre Fehler. Um den statistischen Fehler zu bestimmen, bilden wir die Standardabweichung unserer Wellenlängen. Somit erhalten wir:

$$\boxed{\lambda = (529 \pm_{\text{syst}} 2 \pm_{\text{stat}} 4)\text{nm}}$$

3.2 Aufgabe 2: Bestimmung des Brechungsindex von Luft

Um den Brechungsindex zu bestimmen, plotten wir zuerst die Daten der einzelnen Messreihen und fitten eine Gerade an sie heran. Der Plot, sowie der Betrag der 5 extrahierten Steigungen m schauen wie folgt aus:

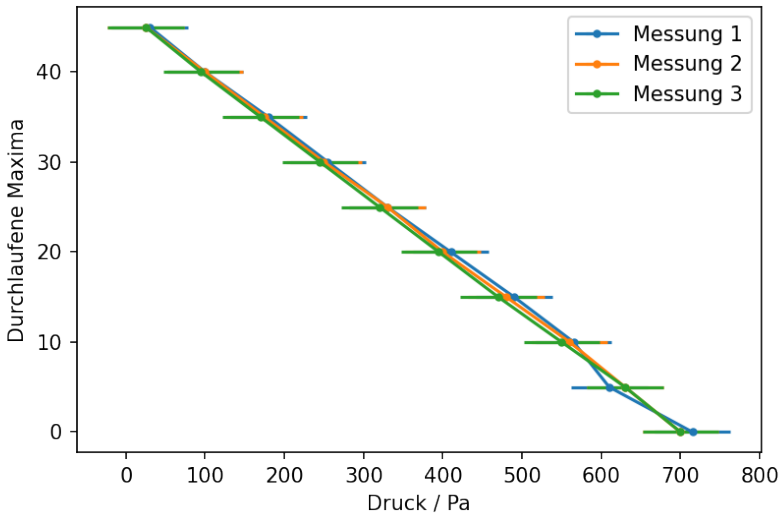


Abbildung 3: Daten der Messreihe geplottet

Da du p als Fehlerbehaftete Größe hast, wäre ein Plot eines p/m Diagramms (und natürlich der Verwendung des Kerwerts) in dem Falle sinnvoller, da curvefit nur den Fehler des y-Wertes einbeziehen kann

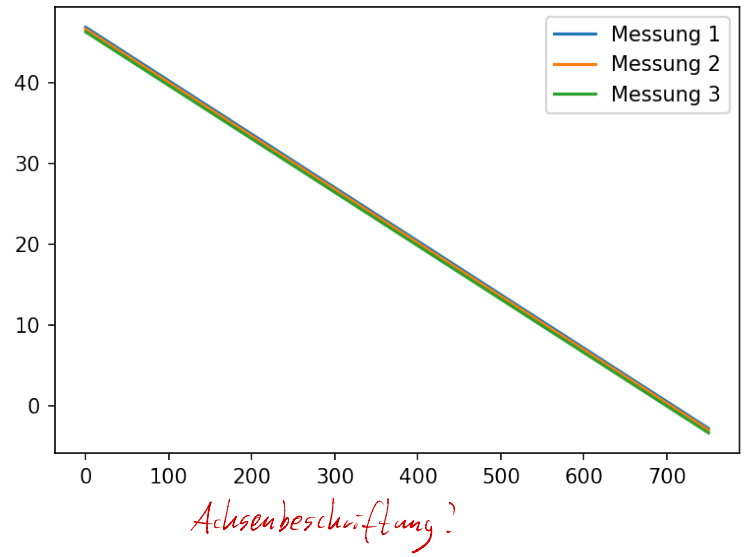


Abbildung 4: Herangefittete Gerade

$$\boxed{|m_1| = (0.0662 \pm 0.0009)\text{torr}^{-1}}$$
$$\boxed{|m_2| = (0.0661 \pm 0.0003)\text{torr}^{-1}}$$
$$\boxed{|m_3| = (0.0661 \pm 0.0003)\text{torr}^{-1}}$$

Bilden wir davon nun wieder den Mittelwert, so erhalten wir:

$\boxed{|m| = (0.0662 \pm 0.0005)\text{torr}^{-1}}$ Nutzen wir nun Formel (12) und rechnen unseren Druck auf Normalbedingungen um, so erhalten wir folgende Formel mit ihrem Fehler nach

Gauß:

$$n_0 = \frac{\lambda m p_0 T}{2 a T_0} + 1 \tag{16}$$

$$\Delta n_0 = \sqrt{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2} \tag{17}$$

Unser Brechungsindex ist also:

$$\boxed{n_0 = 1.000289 \pm 0.000004}$$

3.3 Aufgabe 3: Kohärenzlänge einer Leuchtdiode

Um die Kohärenzlänge einer Leuchtdiode zu bestimmen, fitten wir zuerst eine Gaußkurve an das vom Oszilloskop aufgenommene Signal:

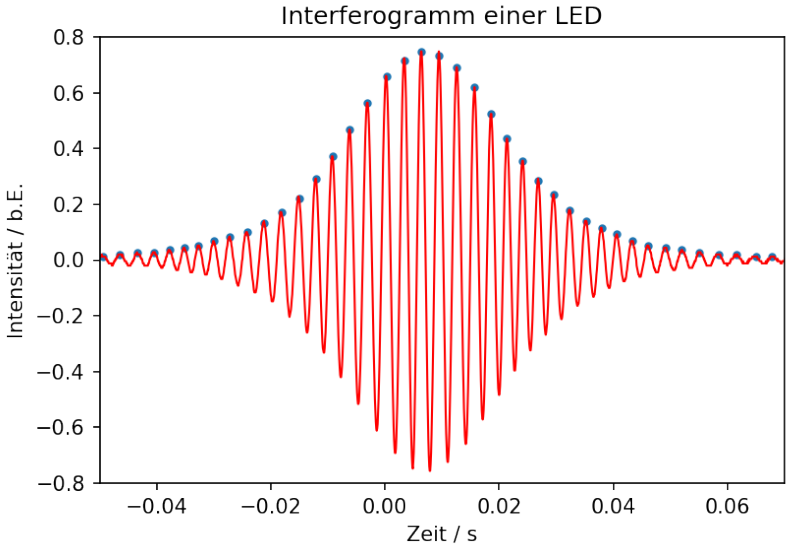


Abbildung 5: Eingangssignal des Oszilloskops mit markierten Maxima

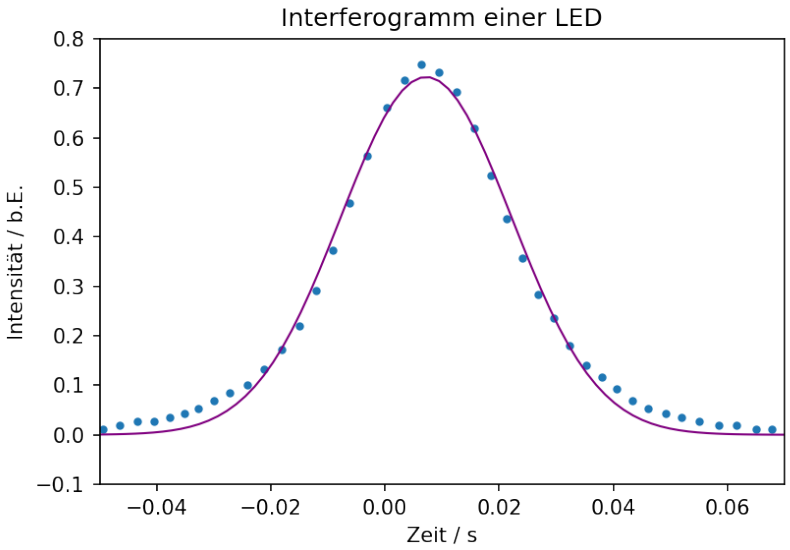


Abbildung 6: Einhüllende Gaußglocke

Python gibt uns folgende Parameter der Glocke aus:

$\boxed{a = (0.0272 \pm 0.0003)\text{b.E}}$
$\boxed{\mu = (0.00721 \pm 0.00020)\text{s}}$
$\boxed{\sigma = (0.01500 \pm 0.00020)\text{s·b.E.}}$ Ja das hier sind s.

Die Breite der Gaußkurve berechnen wir mittels folgender Größe bestimmen:

$$\text{FWHM} = 2\sqrt{2\ln 2}\sigma \tag{18}$$
$$\Delta\text{FWHM} = 2\sqrt{2\ln 2}\Delta\sigma \tag{19}$$

Sehen wir das als Breite an, können wir durch die Geschwindigkeit des Spiegels ($v \approx 0.1\text{mm/s}$ die Kohärenzlänge bestimmen:

$$L = 2 \cdot \text{FWHM} \cdot v \tag{20}$$
$$\Delta L = 2 \cdot \Delta\text{FWHM} \cdot v \tag{21}$$
$$\tag{22}$$

Somit erhalten wir:

$\boxed{L = (7.06 \pm 0.09)\mu\text{m}}$

4 Zusammenfassung und Diskussion

Zu aller erst haben wir in diesem Versuch mit dem Interferometer die Wellenlänge eines grünen Lasers bestimmt. Bei dieser Messung kamen wir auf folgendes Ergebnis:

$\boxed{\lambda = (529 \pm_{\text{syst}} 2 \pm_{\text{stat}} 4)\text{nm}}$

Vergleicht man diesen Wert nun mit der Herstellerangabe, welche $\lambda = (532 \pm 1)$ lautet, so erhält man mit der Formel:

$$\sigma = \frac{|x - y|}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}} \tag{23}$$

folgende Sigma-Abweichung: welchen Fehler benutzt?

$\boxed{\sigma_\lambda = 0.54}$

Anschließend haben wir den Brechungsindex von Luft bestimmen wollen. Wir erhielten für diesen Wert:

$\boxed{n_0 = 1.000289 \pm 0.000004}$

Vergleicht man nun auch diesen Wert mit dem Richtwerte, welcher im Skript als $n_0 = 1.00028$ angegeben ist, so erhält man eine Abweichung von:

$\boxed{\sigma_{n_0} = 2.34}$

Im letzten Versuchsteil wollten wir noch die Kohärenzlänge einer LED bestimmen. Bei dieser Berechnung lautete unser Endergebnis

$\boxed{L = (7.06 \pm 0.09)\mu\text{m}}$

Da es hier keinen Richtwert gibt, können wir leider keine Abweichung bestimmen. Erwartete Größenordnung?

Wir sehen also, dass vor allem die Abweichung unserer Wellenlänge des Lasers im Vergleich zu den Herstellerangaben sehr gering ausgefallen ist. Zum Teil ist das sicher durch den großen statistischen Fehler bedingt, jedoch wäre sie selbst ohne Berücksichtigung dieses nicht signifikant groß. Es scheint also, als hätten wir die Wellenlänge erfolgreich bestimmt.
Eine nicht ~~so~~ ganz so geringe Abweichung tritt jedoch beim Brechungsindex auf. Zwar ist eine Abweichung von 2.34 nicht außerhalb des 3σ-Bereiches, jedoch ist sie groß genug, um nach möglichen Ursachen zu suchen. Ein potentieller Grund ist die Tatsache, dass im Richtwert nicht genügend Nachkommastellen angegeben wurden. Jede Nachkommastelle des berechneten Wertes stimmt mit dem des Richtwertes überein. Allerdings kann man davon ausgehen, dass die Nachkommastellen nicht so groß sind, dass sie nah an unseren Wert herankommen (immerhin müsste man unseren Wert auf 1.00029 aufrunden, der Richtwert wurde allerdings offensichtlich auf 1.00028 gerundet. Andere mögliche Fehlerquellen sind vermutlich Umgebungsfaktoren wie Luftfeuchtigkeit oder sicherlich auch die Glasscheiben der Küvette. Allerdings sind wir trotzdem mit unserem Ergebnis relativ nah am Echtwert, weshalb man auch hier von einem Erfolg sprechen kann.
Zwar gab es für die Kohärenzlänge keinen Vergleichswert, jedoch sind wir beim Durchführen auf einige Schwierigkeiten gestoßen. So hat die Intensität, welche das Oszilloskop aufgenommen hat, sehr stark geschwankt. Das richtige Triggerlevel sowie die richtige Skalie-

rung zu finden war nicht ganz leicht. Das unsere Messung akkurat ist, ist deshalb nicht unbedingt gegeben. Des weiteren ist die Breite des Signals bestimmen auch nicht ganz eindeutig. Die Halbwertsbreite (FWHM) zu nutzen ist zwar naheliegend, allerdings hat man so nicht direkt die gesamte Breite bestimmt. Der erhaltene Wert im Mikrometerbereich ist allerdings nicht sonderlich abwegig.
Alles in allem würde ich diesen Versuch als gelungen ansehen. Wir konnten erfolgreich die Wellenlänge des Lasers bestimmen. Außerdem haben zumindest alle Nachkommastellen des Richtwertes für den Brechindex von Luft übereingestimmt, also auch hier kein schlechtes Ergebnis. Ob die Kohärenzlänge so wie sie berechnet wurde stimmt, lässt sich nicht direkt sagen, allerdings ist es sehr plausibel.
Bei einer erneuten Durchführung des Versuchs würde ich vor allem eine LED verwenden, dessen Kohärenzlänge bereits bekannt ist. Wenn es die Zeit hergibt, würde ich für Versuchsteil 1 und 2 die Durchführungen erhöhen um so den statistischen Fehler zu minimieren. Auch wäre ein zuverlässigerer Mechanismus zur Impulszählung in Teil 1 nützlich. Der momentane Zählt doch schon sehr leicht nicht existente Maxima...

5 Anhang

Joa, solides Protokoll, den Großteil sehr solide und nachvollziehbar dargestellt. Schön formatiert das Ganze. jetzt mal etwas Meckern auf hohem Niveau: Die Vorgehensweise hätte an Paar Stellen etwas genauer beschrieben werden, die Achsenbeschriftung am 2. Plot hat gefehlt (und wie beschrieben wäre anders herum ein represäntativerer Fehler entstanden) und die Formel der Fehlerrechnung in Teil 2 war falsch (am Wert erkenn ich aber, dass du wahrsch. die richtige benutzt hast und nur falsch getext hast. Diskussion war auch wieder toll. +

Versuch 232

March 13, 2025

[1]:
```
#imports
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.constants as c
from scipy.optimize import curve_fit
from scipy import signal
```

[2]:
```
#Dateipfade
FILE_PATH = "../Input_Data/Versuch 232/oscilloscope.CSV"
OUTPUT_DIRECTORY = "../Plots/Versuch 232/"
```

[3]:
```
def calcDiff(x, deltax, y, deltay):
    num = np.abs(x-y)
    denom = np.sqrt((deltax)**2 + (deltay)**2)
    return(num/denom)
```

Aufgabe 1

[4]:
```
s_a = np.array([3002,1000,5000,800,4200]) * c.micro
s_e = np.array([2,4003,2001,3800,1193]) * c.micro
m = np.array([11291,11530,11306,11314,11344])
s_delta = 9 * c.micro
```

[5]:
```
distance = np.abs(s_a-s_e)
distance_delta = np.sqrt(2*(s_delta)**2)
distance, distance_delta
```

[5]:
```
(array([0.003   , 0.003003, 0.002999, 0.003   , 0.003007]),
 1.2727922061357856e-05)
```

[6]:
```
lamb = 2 * distance / m #lambda für alle messungen berechnen
delta_syst = 2 * distance_delta / m #fehler dieser lambdas für alle messungen␣
 ↪berechnen
mean_lamb = np.mean(lamb) #mittelwert der lambdas berechnen
mean_delta_syst = np.mean(delta_syst) #mittlewert der systematischen fehler␣
 ↪berechnen
delta_stat = np.std(lamb) #standardabweichung der berechneten lambdas bestimmen
print(lamb)
```

```
print(delta_syst)
print(mean_lamb, mean_delta_syst, delta_stat)
calcDiff(mean_lamb,mean_delta_syst+delta_stat,532e-9,1e-9)
```

```
[5.31396688e-07 5.20901995e-07 5.30514771e-07 5.30316422e-07
 5.30148096e-07]
[2.25452521e-09 2.20779220e-09 2.25153406e-09 2.24994203e-09
 2.24399190e-09]
5.286555942766397e-07 2.241557081360843e-09 3.900624199639705e-09
```

[6]:
```
0.5374220059346676
```

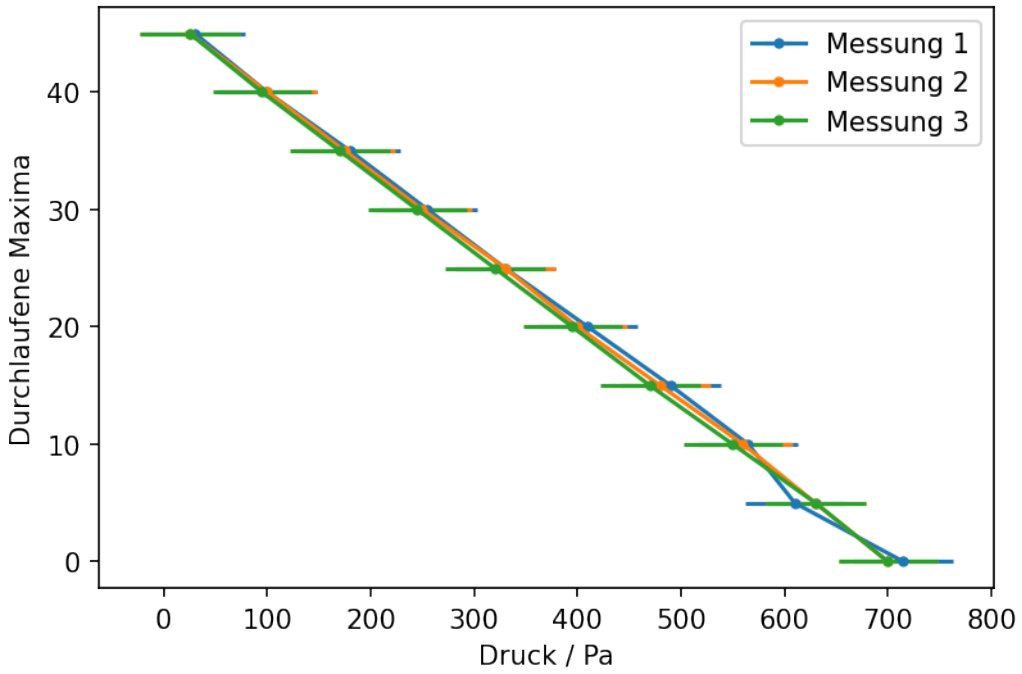
Aufgabe 2

[7]:
```
rings = np.arange(0,50,5)
T = 24.3 + 273.15
T_delta = 0.1
p_0 = 101325/133.3
T_0 = 273.15

p_1 = np.array([715,610,565,490,410,330,255,180,100,30])
p_2 = np.array([700,630,560,480,400,330,250,175,100,25])
p_3 = np.array([700,630,550,470,395,320,245,170,95,25])

delta_p_gemessen = np.sqrt(3**2 + (800*0.06)**2)
```

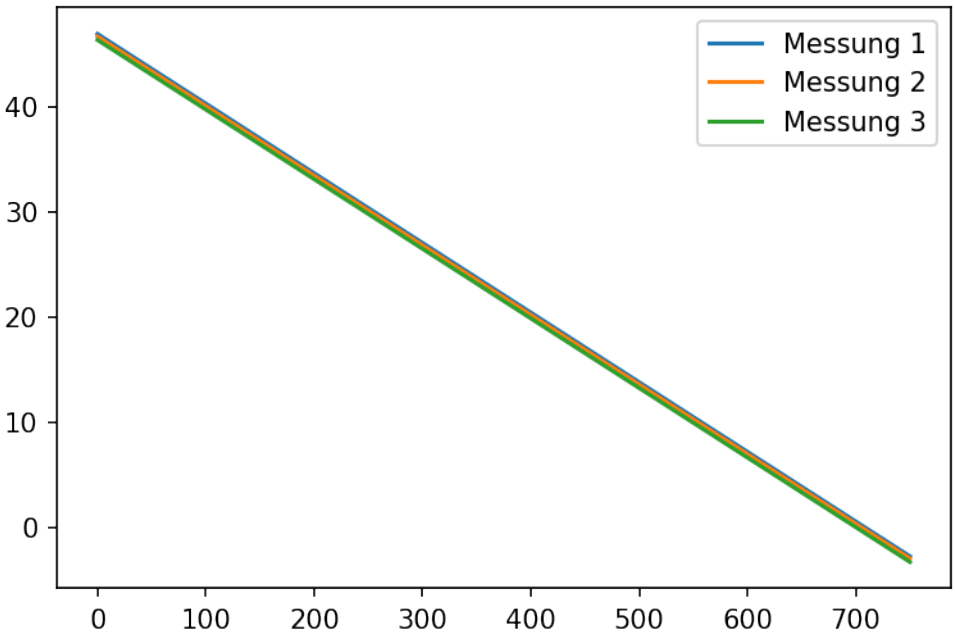
[8]:
```
#plotten der 3 geraden
plt.figure(dpi=150)
plt.xlabel('Druck / Pa')
plt.ylabel('Durchlaufene Maxima')
plt.errorbar(p_1,rings,label = 'Messung 1',marker = '.',xerr = delta_p_gemessen)
plt.errorbar(p_2,rings,label = 'Messung 2',marker = '.',xerr = delta_p_gemessen)
plt.errorbar(p_3,rings,label = 'Messung 3',marker = '.',xerr = delta_p_gemessen)
plt.legend()
plt.savefig(OUTPUT_DIRECTORY + "Plot4.png")
```



[9]:
```
#gerade heranfitten
def lin(x,a,b):
    return a*x+b
popt11,pcov11 = curve_fit(lin,p_1,rings)
popt12,pcov12 = curve_fit(lin,p_2,rings)
popt13,pcov13 = curve_fit(lin,p_3,rings)
print(popt11[0],popt12[0],popt13[0])
print(np.sqrt(pcov11[0][0]),np.sqrt(pcov12[0][0]),np.sqrt(pcov13[0][0]))
```

```
-0.0661894150048065 -0.0661468279212293 -0.06614682791915226
0.0009198563189105276 0.0003143769763989246 0.0003143769745716769
```

[10]:
```
x = np.linspace(0,750,100)
plt.figure(dpi=150)
plt.plot(x,lin(x,*popt11),label = 'Messung 1')
plt.plot(x,lin(x,*popt12),label = 'Messung 2')
plt.plot(x,lin(x,*popt13),label = 'Messung 3')
plt.legend()
plt.savefig(OUTPUT_DIRECTORY + "Plot5.png")
```



[11]:
```
nperp = np.mean([popt11[0],popt12[0],popt13[0]])
nperp_delta = np.mean([np.sqrt(pcov11[0][0]),np.sqrt(pcov12[0][0]),np.
 ↪sqrt(pcov13[0][0])])
nperp, nperp_delta
```

[11]: (-0.0661610236150627, 0.0005162034232937097)

[12]:
```
lamb_ = mean_lamb
lamb_delta = mean_delta_syst + delta_stat
a = 50e-3
a_delta = 0.05e-3
n_0 = (lamb_ * np.abs(nperp) * p_0 * T) / (2*a*T_0) + 1
n_0_delta = (n_0-1) * np.sqrt((lamb_delta/lamb_)**2 + (a_delta/a)**2 +␣
 ↪(nperp_delta/nperp)**2 + (T_delta/T)**2)
print(n_0, n_0_delta)

calcDiff(n_0,n_0_delta,1.00028,0)
```

```
1.0002895171397308 4.063331248270418e-06
```

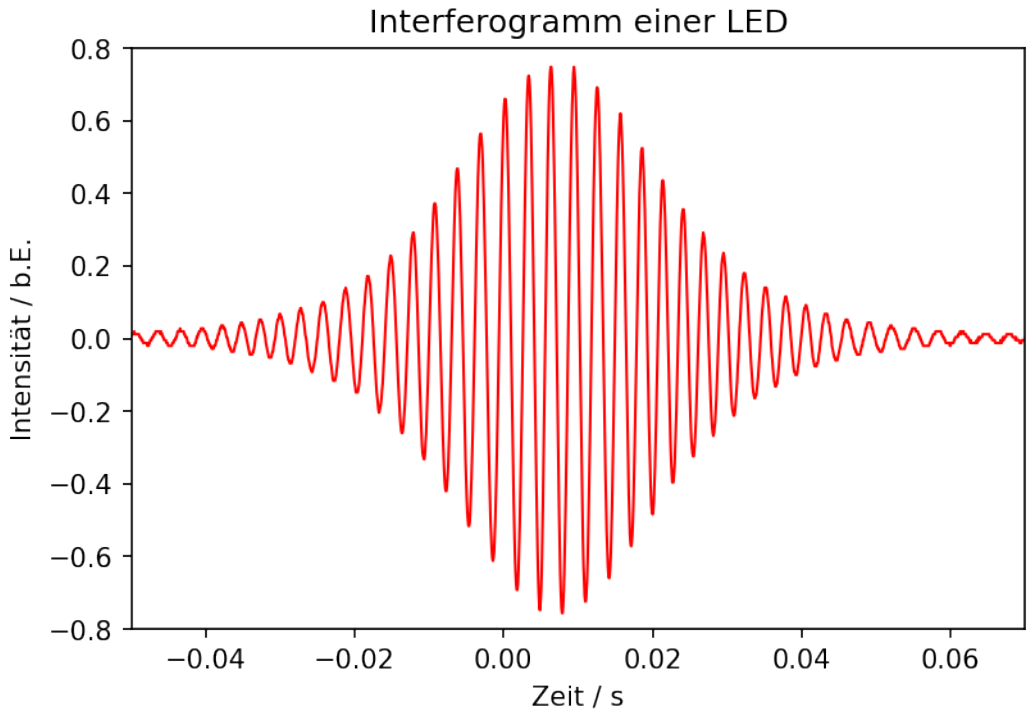
[12]: 2.342201299682975

Aufgabe 3

[13]:
```
#Oszilloskopdaten Laden
t, U = np.loadtxt(FILE_PATH, delimiter = ',', skiprows = 18, unpack = True)
```

[14]:
```
plt.figure(dpi = 150)
plt.plot(t, U, color = 'red', linewidth = 1)
plt.xlabel('Zeit / s')
plt.ylabel('Intensität / b.E.')
plt.title('Interferogramm einer LED')
plt.axis([-0.05,0.07,-0.8,0.8])

plt.savefig(OUTPUT_DIRECTORY + 'Plot1.png')
```

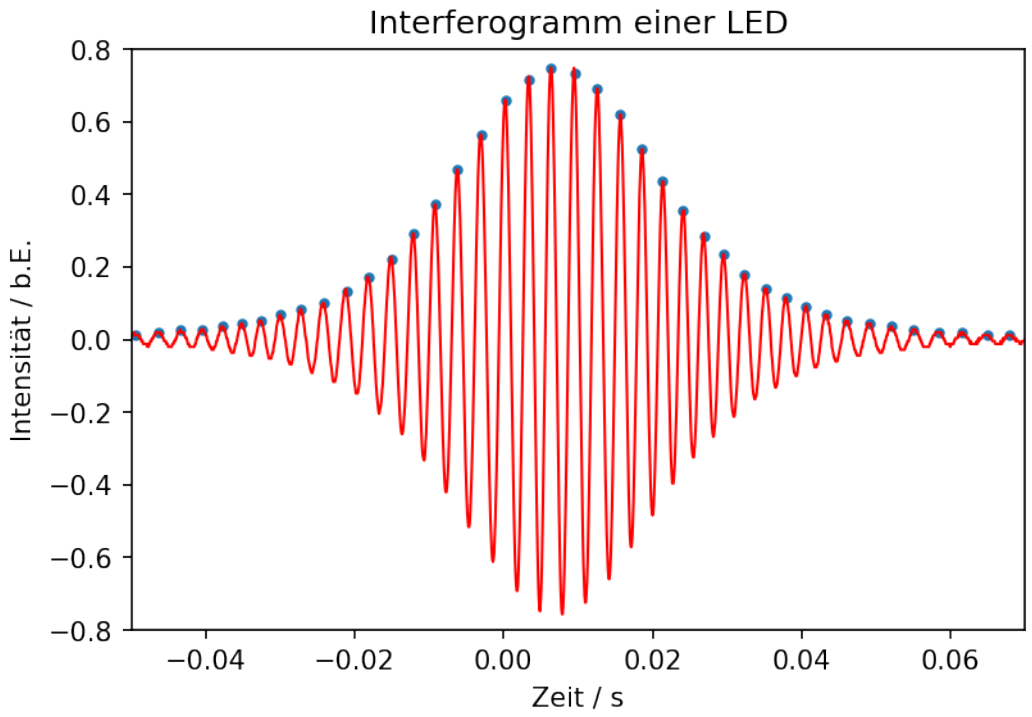


[15]:
```
#Bestimmung Gauß Methode 2
peakind = signal.find_peaks_cwt(U, np.arange(1,30), noise_perc = 20)

def gauss(x,A,mu,sig):
    return A/(sig * np.sqrt(2*np.pi)) * np.exp(-(x-mu)**2/(2*sig**2))
```

[16]:
```
plt.figure(dpi=150)
plt.plot(t[peakind], U[peakind], marker = '.', linewidth = 0)
plt.plot(t,U,color = 'red', linewidth=1)
plt.xlabel('Zeit / s')
plt.ylabel('Intensität / b.E.')
plt.title('Interferogramm einer LED')
plt.axis([-0.05,0.07,-0.8,0.8])
```

```
plt.savefig(OUTPUT_DIRECTORY + 'Plot2.png')
```



[17]:
```
#Gauss fitten
popt2, pcov2 = curve_fit(gauss, t[peakind], U[peakind])
print(popt2)
print(np.sqrt(pcov2[0][0]),np.sqrt(pcov2[1][1]),np.sqrt(pcov2[2][2]))
```

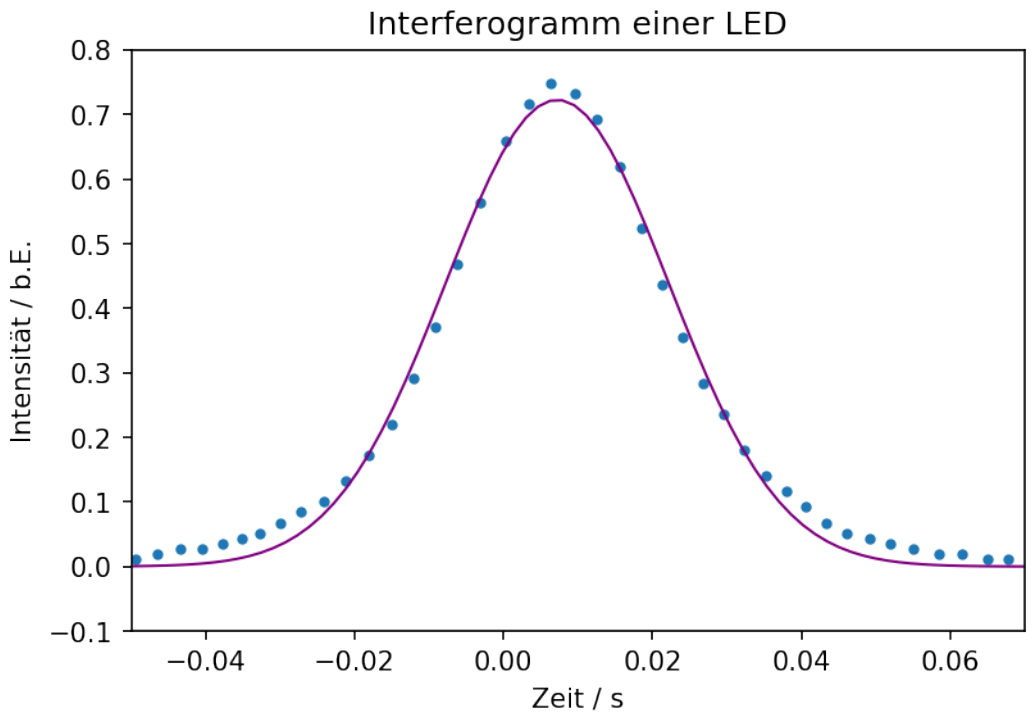
```
[-0.02717383  0.00721233 -0.01499503]
0.000307637684377691 0.00019616425594411386 0.0001954861807577995
```

[18]:
```
x = np.linspace(-0.06,0.1,100)

plt.figure(dpi=150)
plt.plot(t[peakind], U[peakind], marker = '.', linewidth = 0)
plt.plot(x,gauss(x,*popt2),color = 'purple', linewidth=1)
plt.xlabel('Zeit / s')
plt.ylabel('Intensität / b.E.')
plt.title('Interferogramm einer LED')
plt.axis([-0.05,0.07,-0.1,0.8])
print(*popt2)

plt.savefig(OUTPUT_DIRECTORY + 'Plot3.png')
```

```
-0.02717382621261202 0.007212329876003098 -0.014995033929537155
```



[19]:
```
sigma = popt2[2]
sigma_delta = np.sqrt(pcov2[2][2])
v=0.1e-3
```

[20]:
```
FWHM = 2*np.sqrt(2*np.log(2))*sigma
FWHM_delta = 2*np.sqrt(2*np.log(2))*sigma_delta
```

[21]:
```
L = 2*FWHM*v
L_delta = 2*FWHM_delta*v
L,L_delta
```

[21]: (-7.06212129463866e-06, 9.206695539500194e-08)