

Fakultät für Physik der
Ludwig-Maximilians-Universität München



Fortgeschrittenenpraktikum I in Experimentalphysik - Kurs P3A

Blockpraktikum vom 01. bis 31. März 2021

Name:	Yindong Sun	Gruppe:	14
-------	-------------	---------	----

Datum	Versuch		Punkte	Testat
	1	Mikroskopie@Home Mikroskopie mit dem Foldscope		
	2	BEU - Beugung		
2. MAR 2021	3	LAS - Lasersicherheit		
	4A	INP - Interferenzphänomene		
	4B	MIN - Michelson-Interferometer		
	4D	FPI - Fabry-Pérot-Interferometer		
4. MAR 2021	4E	MZI - Mach-Zehnder-Interferometer		
	5B	LLA - c-Messung/Lambertscher Strahler		
	5C	POL - Polarisation		
	5D	SPG - Spektrogoniometer		
	5E	FFR - Fresnelsches Gesetz der Reflexion		

Unterschrift der/des
Studierenden:

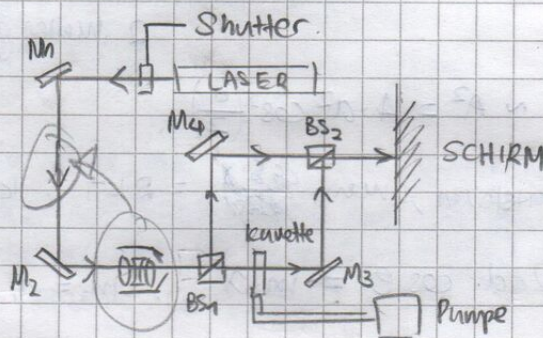
Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum auf.

Teilversuch 1: Aufbau eines Mach-Zehnder-Interferometers

Versuchsziel: Ein Mach-Zehnder-Interferometer aufbauen.

Messmethode: Keine

Skizze:



Durchführung

- ① Aufbau wie in Skizze mit Strahlenganghöhe 130 mm.
- ② Strahlengang mittels M_1 und M_2 justieren, sodass Strahl parallel zum Tisch
- ③ M_3 einsetzen und justieren, sodass Strahl auf BS_2 trifft.
- ④ BS_1 einsetzen, sodass Strahlengang nicht verändert.
- ⑤ M_4 einsetzen, sodass Strahl auf BS_2 trifft.
- ⑥ mit M_3 und M_4 Laserstrahl justieren, sodass die Ausgangsstrahlen den gleichen Ausbreitungswinkel haben.
- ⑦ Lochblende einsetzen (Strahlauflaufsystem) und justieren, sodass Laserstrahl durch das System läuft.

Teilversuch 2: Bestimmung des Brechungsindex von Luft

Versuchsziel: Brechungsindex von Luft bestimmen.

Messmethode: Mach-Zehnder-Interferometer

Anzahl von Max/Min, die über ein Punkt durchläuft.

Skizze: Wie in TV1

Durchführung:

- ① Setzen Kuvette vor Laserstrahl zwischen BS_1 und M_3 . Strahl soll sich nicht verändern.
- ② Vakuumschlauch mit der Handvakuumpumpe und einer Öffnung der Kuvette verbinden.
- ③ Andere Öffnung über einen weiteren Schlauch mit dem Druckmessgerät verbinden.

- ④ Druck in der Kavette mit der Handpumpe verringern bis ca. 500 hPa. Druck notieren.
 - ⑤ Phasenlage des Zentrums notieren. Oder wenn das nicht möglich ist, einen festen Punkt auf einem Blatt Papier markieren, das auf dem Schirm geklebt ist. Punkt soll ein Min oder Max im Muster entsprechen.
 - ⑥ Mit dem Ventil an der Kavette langsam ~~lassen~~ Luft einströmen. Die Anzahl der Maxima / Minima, welche die markierte Stelle passieren. ^{zählen}
- Je 10 Durchgänge soll den Druck am Druckmessgerät notiert werden.
 → Punkt = Max, Zahlen min (?)
- ⑦ Schritt ⑥ weiter machen, bis die Kavette wieder vollständig gefüllt ist.

Gefakte Auswertung

- Die Zahl der verschobene Maxima soll gegen den Druck p aufgetragen werden

$$\Delta m = \underbrace{\left[(n-1) \cdot \frac{s}{\lambda p_0} \right]}_{\text{Gradient}} p$$

$l = (256,38 \pm 0,03) \text{ mm}$
 von Hersteller

$$n = \frac{\lambda p_0}{s} g + 1$$

Teilversuch 3: Bestimmung des Brechungsindex von CO_2 .

Versuchsziel: Brechungsindex von CO_2 bestimmen

Messmethode: Mach Zehnder Interferometer,
 Anzahl von Min/Max, die über ein Punkt durchläuft.

Skizze: siehe TV1

Durchführung

- ① Handpumpe, Druckmessgerät, Vakuumschläuche und Kavette ab.
- ② Setze Glaszapsel mit den zwei Stopfen an die Stelle der Kavette.
- ③ Führe Glaszapsel ^{auf CO_2 Dose} zu einer der Öffnungen der Glaszapsel und hineinschieben.

- ④ Ventil langsam und kontrolliert öffnen.
- ⑤ Umgekehrte Anzahl von Max/Min, die über dem Punkt durchläuft.
- ⑥ Stoppe, wenn keine Änderung im Interferenzbild zu sehen ist
(Kapsel ist mit CO_2 gefüllt)
- ⑦ CO_2 Dose schließen und ~~die~~ Kapsel leeren.

Geplante Auswertung

$$\Delta n = \frac{N-2}{2 \cdot l}$$

Anzahl durchlaufene Min / max

$l = s = 50 \text{ mm}$
(Messen)

$$n_{\text{CO}_2} = n_{\text{Luft}} + \Delta n$$

(Theoretisch ist $\Delta n > 0$)

Lehrprotokoll

Vorbereitung 1: Aufbau

- ① M3 und M4 so justieren, dass die Laserstrahl auf genauem Punkt auf BS2 trifft.
- ② BS2 rotieren, sodass die Punkte auf den 2 Seiten (nach der Fern) trifft.
- ③ Vertikal Justage, sodass nach und fern gleiche Höhe hat. (M3 und M4 gleichzeitig)
- ④ Horizontal Justage,
 - Punkt auf Nahfeld trifft
 - Punkt im Nahfeld bewegen (mit M3 und M4 gleichzeitig) bis Fernfeld auch trifft.

Auf Nahfeld konzentrieren und beide Spalte gleichzeitig im Nahfeld bewegen, so dass im Fern alles immer auf ein Punkt ist
- ⑤ Objektiv versetzen, sodass Laser am Ende immer noch auf gleichen Punkt trifft.
- ⑥ Beobachtete Chosen, dann max suchen.
Dann Lochblende langsam nach Fokus der Linse schieben, sodass wieder ein max getroffen ist.
Stein soll außerdem Gaußförmig sein
- ⑦ Skizze:

Teilversuch 2: Brechungsindex von Luft

($\Delta P_z = \pm 1 \text{ hPa}$)

# Durchgänge	$m = 0,1288$	$m = 0,130$	$m = 0,152$	$= 0,137$
	Druck P_1 / hPa	P_2 / hPa	P_3 / hPa	\downarrow
0	494	509	482	$n = 1,000264253$
5	534	545	517	
10	571	586	549	\leftarrow Nicht in Auswertung verwendet
15	610	621	586	
20	649	661	622	\leftarrow Nicht in Auswertung verwendet
25	689	702	641	
30	-	-	669	

$$\lambda = (520 \pm 20) \text{ nm}$$

$$P_0 = (951 \pm 1) \text{ hPa}$$

Teilversuch 3: Brechungsindex von CO_2

Versuch	# Durchgänge
1	12
2	13
3	12

$$\Rightarrow n_{\text{CO}_2} = 1,000528387$$

$$\text{Länge } l \text{ der Kapsel} = (50 \pm 1) \text{ mm}$$

LMU München Physikalische Praktika	
Versuch:	721
Datum:	4.3.2021
Betreuer:	<i>[Signature]</i>

MZI – Mach-Zender-Interferometer

Auswertung

Yudong Sun
Gruppe I4

5. März 2021

Teilversuch 1: Aufbau eines Mach-Zender-Interferometers

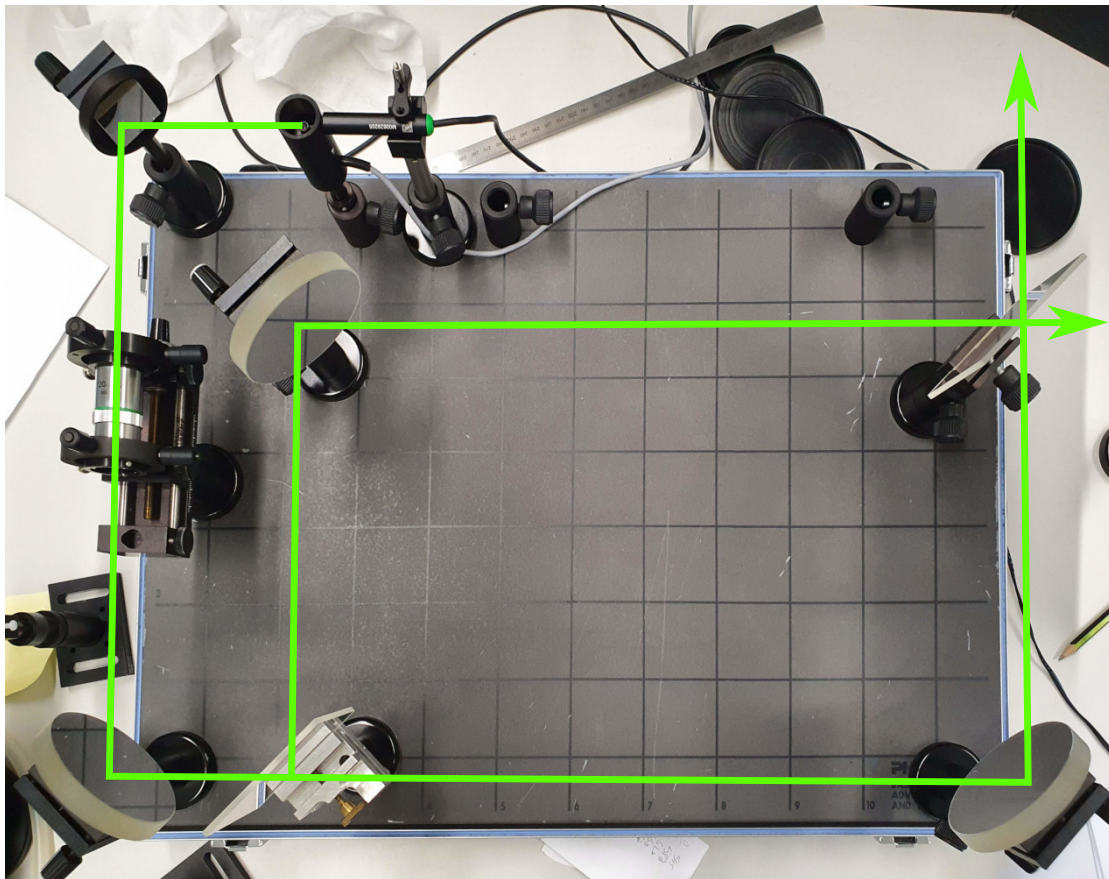


Abbildung 1.1: Mach-Zender-Interferometer Aufbau

Teilversuch 2: Bestimmung des Brechungsindex von Luft

Aus der Anleitung ist der Brechungsindex von Luft gegeben durch:

$$n_{\text{Luft}} = \frac{\lambda P_0}{s} \cdot g + 1 \quad (2.1)$$

mit dem entsprechen Fehler:

$$\Delta n_{\text{Luft}} = n_{\text{Luft}} \sqrt{\left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_0}{P_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta s}{s}\right)^2 + \left(\frac{\Delta g}{g}\right)^2} \quad (2.2)$$

wobei g die Steigung des Graphs von Δm (die Anzahl der Durchgänge) gegen P (Druck) ist.

Wir plotten zunächst die Messwerten und führe mittels `gnuplot` eine Kurveanpassung der Form $\Delta m = gP + c$ durch (Siehe Appendix A). Ein Messfehler von $\Delta P_i = 1 \text{ hPa}$ wird bei der Kurvenanpassung wegen der hohe Anzahl von Messwerten nicht berücksichtigt.

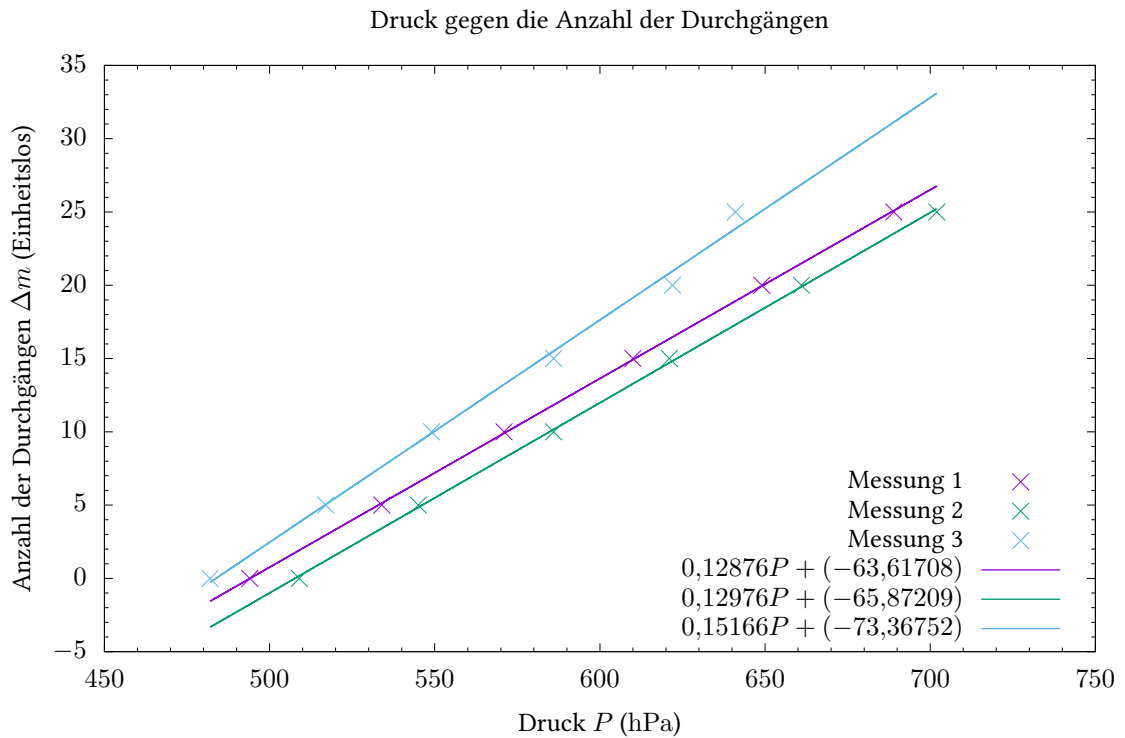


Abbildung 2.1: Druck gegen die Anzahl der Durchgängen

Als Ergebnis erhalten wir:

Messung	g/hPa^{-1}	c	χ_{red}^2
1	$0,128\,76 \pm 0,000\,67$	$-63,617\,08 \pm 0,395\,87$	0,011 69
2	$0,129\,76 \pm 0,001\,47$	$-65,872\,09 \pm 0,894\,62$	0,056 31
3	$0,151\,66 \pm 0,005\,86$	$-73,367\,52 \pm 3,336\,79$	0,650 34

Gerundet:

Messung	g/hPa^{-1}	c
1	$0,1288 \pm 0,0007$	$-63,6 \pm 0,4$
2	$0,1298 \pm 0,0015$	$-65,9 \pm 0,9$
3	$0,152 \pm 0,006$	-73 ± 4

Nun berechnen wir den Mittelwert von g . Wir vernachlässigen jegliche Fehler bei der einzelnen g -Werten und nehmen die statische Schwankung

$$\Delta g = \frac{g_{\max} - g_{\min}}{2}$$

als der Fehler, da diese Schwankung viel größer ist. Es ist in diesem Fall wegen der niedrigen Anzahl von g -Werten nicht sinnvoll, die Standardabweichung zu nehmen.

Wir erhalten somit $\bar{g} = (0,137 \pm 0,012) \text{ hPa}^{-1}$. Im Folgenden ist $g = \bar{g}$.

Mit der Messwerten:

Variable	Wert	Bedeutung
λ	$(520 \pm 20) \text{ nm}$	Wellenlänge des Lasers
P_0	$(9,51 \pm 0,01) \cdot 10^4 \text{ Pa}$	Atmosphärendruck im Raum
s	$(256,38 \pm 0,03) \text{ mm}$	Optische Länge der Küvette
g	$(1,37 \pm 0,12) \cdot 10^{-3} \text{ Pa}^{-1}$	Durchschnittliche Steigung

erhalten wir:

$$n_{\text{Luft}} = \frac{(520 \cdot 10^{-9} \text{ m})(9,51 \cdot 10^4 \text{ Pa})}{256,38 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \cdot (1,37 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}^{-1}) + 1$$

$$= 1,000\,264\,253 \quad (10 \text{ sig. Zif.}) \quad (2.3)$$

$$\Delta n_{\text{Luft}} = (1,000\,264\,253) \sqrt{\left(\frac{20}{520}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{9,51}\right)^2 + \left(\frac{0,03}{256,38}\right)^2 + \left(\frac{0,12}{1,37}\right)^2}$$

$$= 0,10 \quad (2 \text{ sig. Zif.}) \quad (2.4)$$

Somit erhalten wir als Endergebnis: $n_{\text{Luft}} = 1,00 \pm 0,10$.

Dieses Ergebnis stimmt mit der Literaturwert $n_{\text{Luft, Lit}} = 1.000269$ überein. Der Fehler ist aber sehr groß, was hauptsächlich zur

- Unsicherheit in der Wellenlänge des Lasers und
- Unsicherheit bei dem selbstständigen Zählen der Durchgängen

zurückzuführen ist.

Teilversuch 3: Bestimmung des Brechungsindex von CO₂

Aus der Anleitung ist der Brechungsindex von CO₂ gegeben durch:

$$n_{\text{CO}_2} = n_{\text{Luft}} + \frac{N\lambda}{2l} \equiv n_{\text{Luft}} + \varepsilon \quad (3.1)$$

mit dem entsprechenden Fehler:

$$\begin{aligned} \Delta n_{\text{CO}_2} &= \sqrt{(\Delta n_{\text{Luft}})^2 + (\Delta \varepsilon)^2} \\ &= \sqrt{(\Delta n_{\text{Luft}})^2 + \varepsilon^2 \left[\left(\frac{\Delta N}{N} \right)^2 + \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda} \right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l} \right)^2 \right]} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Aus dem Versuch haben wir einen Durchschnitt von $N = 12 \pm 1$, wobei $\Delta N = 1$ die Schwankung ist. Die Schwankung ist hier als Unsicherheit genommen, da $n = 3$ zu klein einer Datensatz ist, um die statische Unsicherheit als Unsicherheit zu betrachten.

Mit der Werten:

Variable	Wert	Bedeutung
λ	$(520 \pm 20) \text{ nm}$	Wellenlänge des Lasers
l	$(50 \pm 1) \text{ mm}$	Optische Länge der Kapsel
n_{Luft}	$1,00 \pm 0,10$	Brechungsindex von Luft
N	12 ± 1	Durchschnittliche Anzahl von Durchgänge

erhalten wir:

$$n_{\text{CO}_2} = 1,00 + \frac{12(520 \cdot 10^{-9} \text{ m})}{2(50 \cdot 10^{-3} \text{ m})} = 1,000\,062\,4 \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \Delta n_{\text{CO}_2} &= \sqrt{(0,10)^2 + (6,24 \cdot 10^{-5})^2 \left[\left(\frac{1}{12} \right)^2 + \left(\frac{20}{520} \right)^2 + \left(\frac{1}{50} \right)^2 \right]} \\ &= 0,11 \quad (2 \text{ sig. Zif.}) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Somit ist $n_{\text{CO}_2} = 1,00 \pm 0,11$, was mit dem Literaturwert von $n_{\text{CO}_2, \text{Lit}} = 1,000\,416$ übereinstimmt. Unserer Mach-Zender-Interferometer ist aber einfach zu ungenau, um ein besseres Ergebnis zu erhalten.

A gnuplot Quellcode zur Auswertung von Teilversuch 2

```

1  #!/usr/bin/env gnuplot
2  # Version >= 5.2
3
4  set term epslatex color size 6in, 4in
5  set output "tv2-plot.tex"
6  set decimalsign locale 'de_DE.UTF-8'
7
8  set title "Druck gegen die Anzahl der Durchgängen"
9  set ylabel "Anzahl der Durchgängen  $\Delta m$  (Einheitslos)"
10 set xlabel "Druck  $P$  ( $\text{si}\{\text{hecto}\}\text{pascal}$ )"
11
12 set mxtics
13 set mytics
14 set samples 10000
15
16 f(x) = g*x + c
17
18 array A_m[4]
19 array A_m_err[4]
20 array A_c[4]
21 array A_c_err[4]
22 array chisq[4]
23 array titel[4]
24
25 # https://stackoverflow.com/a/17884635
26 do for [t=2:4] {
27     g = 0.130; c = 60; # Reset params
28     fit f(x) "tv2.dat" u t:1 via g,c
29     A_m[t] = g
30     A_m_err[t] = g_err
31     A_c[t] = c
32     A_c_err[t] = c_err
33     chisq[t] = FIT_STDFIT**2
34     titel[t] = "$".gprintf("%.5f", g)."P + ("$.gprintf("%.5f", c).")$"
35 }
36 # Linien
37 set key bottom right vertical maxrows 10 width -8
38
39 plot for [i=2:4] "tv2.dat" u i:1 title "Messung ".(i-1) pointtype 77 lc (i-1)
    ↪ ps 2, for [i=2:4] A_m[i]*x+A_c[i] title titel[i] lc (i-1) lw 2

```

mit tv4.dat:

#	m	P1/hPa	P2/hPa	P3/hPa		5	15	610	621	586
2	0	494	509	482		6	20	649	661	622
3	5	534	545	517		7	25	689	702	641
4	10	571	586	549						

Rohausgabe:

```

1  After 5 iterations the fit converged.
2  final sum of squares of residuals : 0.0467405
3  rel. change during last iteration : -2.826e-12
4
5  degrees of freedom    (FIT_NDF)                : 4
6  rms of residuals      (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf)    : 0.108098
7  variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf    : 0.0116851
8
9  Final set of parameters          Asymptotic Standard Error
10  =====
11  g              = 0.128757          +/- 0.0006655    (0.5168%)
12  c              = -63.6171          +/- 0.3959        (0.6223%)
13
14  correlation matrix of the fit parameters:
15              g          c
16  g              1.000
17  c             -0.994   1.000
18
19  After 5 iterations the fit converged.
20  final sum of squares of residuals : 0.225243
21  rel. change during last iteration : -9.26777e-13
22
23  degrees of freedom    (FIT_NDF)                : 4
24  rms of residuals      (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf)    : 0.237299
25  variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf    : 0.0563106
26
27  Final set of parameters          Asymptotic Standard Error
28  =====
29  g              = 0.129755          +/- 0.001472    (1.135%)
30  c              = -65.8721          +/- 0.8946        (1.358%)
31
32  correlation matrix of the fit parameters:
33              g          c
34  g              1.000
35  c             -0.994   1.000
36
37  After 5 iterations the fit converged.
38  final sum of squares of residuals : 2.60135
39  rel. change during last iteration : -1.65252e-13
40
41  degrees of freedom    (FIT_NDF)                : 4
42  rms of residuals      (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf)    : 0.806435
43  variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf    : 0.650338
44
45  Final set of parameters          Asymptotic Standard Error
46  =====
47  g              = 0.151665          +/- 0.005865    (3.867%)

```



```
48 | c                = -73.3675          +/- 3.337          (4.548%)
49 |
50 | correlation matrix of the fit parameters:
51 |           g          c
52 | g          1.000
53 | c        -0.995  1.000
```