ÜBUNGEN
zur Vorlesung „Instrumente der modernen Physik"
TU Dortmund Sommersemester 2019

– BLATT 5 –

Daniel Krieg (daniel.krieg @ tu-dortmund.de)
Carsten Mai (carsten.mai @ tu-dortmund.de)
Vorbesprechung am Mi 15.05.2019, Abgabe am Mo 20.05.2019.

Maximal drei Teilnehmer/innen können eine gemeinsame Lösung einsenden. Die Lösungen zu Programmieraufgaben bitte als kommentiertes Python-Skript (.py), zu Verständnis- und Rechenaufgaben als PDF-Dokument (z.B. LaTeX, Word, gescannt) per Email an die zwei Übungsleiter einsenden. Bitte alle Namen im Betreff der Email, dem PDF und dem Python-Skript aufführen. Betreff der Email: „[Instrumente19 Übung] Abgabe Blatt 5, <Namen>"*

Aufgabe 1: Kurzfragen (2 Punkte)

a) Graufilter (auch „neutral density"-Filter genannt) sind dafür gedacht, alle Wellenlängen gleichermaßen abzuschwächen. Manche dieser Filter haben eine spiegelnde Oberfläche. Warum? Welche Vor- oder Nachteile haben solche Filter?

b) Ein Strahlteiler in Form einer beschichteten Glasplatte soll 40% der unter 45 Grad auftreffenden Laserleistung durchlassen und 60% reflektieren. Wie würden Sie mit mehreren solcher Strahlteiler die Intensität kurzer Laserpulse auf unter 10% reduzieren?

Aufgabe 2: Kurze Laserpulse in Materie (4 Punkte)

Laserpulse der Wellenlänge λ = 800 nm und 50 fs (Halbwertsbreite) durchqueren eine Glasplatte der Dicke d = 6 mm.

a) Wie verändert sich die Pulsdauer, wenn die Dispersion der Gruppengeschwindigkeit (GVD) $d^2k/d\omega^2$ im Glas 100 fs^2/mm beträgt und anfangs keine longitudinale Positionsabhängigkeit der Wellenlänge (sog. „chirp") vorlag?

b) Der Brechungsindex ändert sich intensitätsabhängig gemäß $n = n_0 + n_2 \cdot I$, wobei n_2 = 10^{-15} cm^2/W sei. Bei welcher Intensität I ist die Phase $\varphi(n) = k(n) \cdot d$ des Lichts am Ende der Platte gegenüber Licht geringer Intensität ($I \approx 0$) um 180° verschoben?

(bitte wenden)

Aufgabe 3: Kurze Laserpulse (6 Punkte)

Konstruieren Sie einen kurzen Laserpuls der Wellenlänge λ_0 = 800 nm aus phasenstarr gekoppelten Resonatormoden q mit jeweils einem elektrischen Feldverlauf der Form

$$E_q = E_0 \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{\left(\omega_q - \omega_0\right)^2}{\sigma_\omega^2} \right) \cdot \exp\left(i\omega_q t + i\varphi_q\right) \quad \text{mit} \quad E_0 = 1 \quad \text{und} \quad \varphi_q = 0\,,$$

wobei die Amplituden der Moden um $\omega_0 = 2\pi\, c / \lambda_0$ normalverteilt sind und $\sigma_\omega = 0{,}01 \cdot \omega_0$ sei. Nehmen Sie in einem Frequenzbereich von $\pm 3\sigma_\omega$ insgesamt 100 Moden mit äquidistanten Frequenzen ω_q an.

a) Geben Sie Zahlenwerte für $f_0 = \omega_0 / 2\pi$ und $\sigma_f = \sigma_\omega / 2\pi$ an. Wie groß ist die Halbwerts-breite Δf des gemessenen Spektrums? Berücksichtigen Sie, dass sich die gemessene Intensität aus dem Quadrat des elektrischen Felds ergibt.

b) Addieren Sie die elektrischen Felder aller Moden im Bereich von ± 200 fs in Zeitschritten von 0,2 fs und tragen Sie die Intensität des so konstruierten Laserpulses als Funktion der Zeit auf. Wie groß ist die Halbwerts-Pulslänge Δt und das sog. “Zeit-Bandbreiten-Produkt“ $\Delta f \cdot \Delta t$?

c) In einem Interferometer wird der Puls geteilt und die beiden Teilpulse gleicher Intensität werden zeitlich im Bereich von -400 fs bis $+400$ fs in Zeitschritten von 0,2 fs gegeneinander verschoben. Addieren Sie für jeden Wert der Verschiebung τ die elektrischen Felder der Teilpulse als Funktion der Zeit und berechnen Sie die zeitlich integrierte Intensität I des resultierenden Gesamtpulses. Stellen Sie $I(\tau)$ grafisch dar.

d) Die Sichtbarkeit oder „visibility“ $v = \left(I_{\max} - I_{\min}\right) / \left(I_{\max} + I_{\min}\right)$ des Interferenzmusters, ist ein Maß für die Kohärenz des Lichtpulses. Die longitudinale Kohärenzlänge sei als die halbe Halbwertsbreite der Funktion $v(\tau)$ definiert. Wie groß ist die Kohärenzlänge, die Sie aus dem Graphen $I(t)$ ablesen?