

Erzeugung optischer Oberwellen

und Bestimmung der Dauer ultrakurzer Lichtimpulse

Die Experimente, die in diesem Versuch durchgeführt werden, ermöglichen Ihnen einen Einblick in die Physik der "Nichtlinearen Optik". Sie sollen mit einer vorhandenen Meßanordnung optische Eigenschaften eines doppelbrechenden, nichtlinearen Kristalls quantitativ bestimmen. Ein weiteres Experiment zeigt Ihnen die Anwendung des Kristalls zum Ermitteln zeitlicher Eigenschaften ultrakurzer Laserlichtimpulse.

Unseriällig ist, daß Sie sich auf diesen Praktikumstag vorbereiten. Bitte lesen Sie die Praktikumsanleitung genau und erarbeiten Sie die gestellten Fragen.

1 Physikalische Grundlagen

1.1 Nichtlineare Optik

Für schwache Lichtquellen (Intensitäten bis 100 W/cm^2) gilt die lineare Optik; d. h., der Brechungsindex n (die elektrische Suszeptibilität χ) ist abhängig von der Frequenz, aber **nicht** von der Stärke des elektrischen Feldes E .

$$\frac{\partial \chi}{\partial E} = 0 = \frac{\partial \epsilon}{\partial E}; \quad \frac{\partial n}{\partial E} = 0 \tag{1}$$

$$n = \sqrt{\epsilon}; \quad \epsilon = 1 + \chi$$

$\epsilon =$ Dielektrizitätskonstante, $E =$ elektrisches Feld

Die klassischen Gesetze der Optik basieren auf diesem Sachverhalt. Höhere Lichtintensitäten im Bereich von 10^7 W/cm^2 und mehr bewirken jedoch Abweichungen vom klassischen Verhalten. Man beobachtet Übergänge zu anderen Frequenzen (Frequenzverdopplung, Summen- und Differenzzerzeugung), stimulierte Streuprozesse (stimulierte Raman-, Brillouinstreuung) u.s.w. Dies kann man folgendermaßen verstehen:

Die elektrische Suszeptibilität χ , die vereinfacht als Skalar betrachtet wird, hängt bei hohen Lichtintensitäten von der Stärke des elektrischen Feldes E ab und läßt sich in einer Tayloreihe entwickeln.

$$\chi = \chi^{(1)} + \chi^{(2)} \cdot E + \chi^{(3)} \cdot E \cdot E + \dots \tag{2}$$

Frage 1

Die Wellengleichung in Materie, die die Ausbreitung elektromagnetischer Strahlung in x-Richtung beschreibt, lautet :

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} - \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\epsilon}{c^2} E \right) = 0 \tag{3}$$

$$\epsilon = 1 + \chi$$

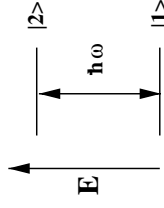
Wie kann man sich anhand der Gleichungen (2) und (3) Übergänge zu Summen- und Differenzfrequenzen vorstellen? Welche Suszeptibilität wird hierfür benötigt?

Um die in diesem Praktikumsversuch erforderlichen Lichtintensitäten zu erzeugen, steht Ihnen ein in dengekoppelter Nd:YAG Laser zur Verfügung. Es soll ein kurzer Überblick über seine Wirkungsweise gegeben werden. Genauere Informationen finden Sie in der Literatur /2, 6/.

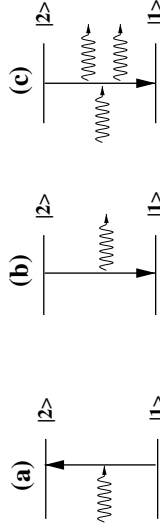
2 Der Nd:YAG Laser

2.1 Wechselwirkung von Licht und Materie

Übergänge in einem Molekül oder Atom sollen vereinfacht wiedergegeben werden. Wir konzentrieren uns auf zwei Energielevels $|1\rangle$ und $|2\rangle$, deren Energieabstand $h\omega$ beträgt ($\omega =$ Frequenz des eingestrahlenen Lichtes).



Folgende Übergänge treten auf:



a) Absorption

Moleküle oder Atome, die sich im Zustand $|1\rangle$ befinden (Besetzungszichte n_1), absorbieren Photonen (Dichte n_q) und gehen in den Zustand $|2\rangle$ über.

$$\frac{\partial n_q}{\partial x} = -\sigma n_1 n_q; \quad \frac{\partial n_q}{\partial t} = -\sigma c n_1 n_q \tag{4}$$

$c =$ Lichtgeschwindigkeit

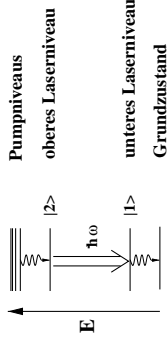
$\sigma =$ Absorptionswirkungsquerschnitt (cm^2)

n_1, n_q in (cm^{-3})

2.2 Funktionsweise des Lasers

Ein Neodym-Ion, eingebaut im YAG - Kristall, zeigt vereinfacht folgendes Energieschema:

Übergänge von den Pumpniveaus zum oberen Laserniveau und vom unteren Laserniveau zum Grundzustand



ren Laserniveau zum Grundzustand erfolgen sehr schnell (ca. 10^{-12} s) und strahlungslos, wohingegen Zustand $|2\rangle >$ eine wesentlich längere Lebensdauer aufweist (ca. $3 \cdot 10^{-4}$ s). Blitzlampenlicht (Dauer ca. 10^{-3} s) kann nun in den Pumpniveaus absorbiert werden und zu einer hohen Bevölkung des oberen Laserniveaus führen. Somit wird nach Gleichung (9) Verstärkung von Licht der Frequenz ω auftreten.

Um die durch Blitzlampenlicht erzeugte Besetzungsinversion mehrmals zur Verstärkung zu nutzen, befindet sich das aktive Lasermaterial zwischen zwei Spiegeln mit Reflexionsfaktoren R_1 und R_2 .

Lasertätigkeit beginnt mit einem spontan emittierten Photon, das zufällig



senkrecht zu den Spiegeln emittiert wird. Sie endet zeitlich, wenn die nötige Besetzungsinversion abgebaut ist (Ende des Blitzlampenlichtes). Über den teildurchlässigen Spiegel 2 werden die Laserimpulse zur weiteren Verwendung ausgekoppelt.

Frage 5

Im Resonator erkennen sie in der Skizze eine Glasplatte unter einem Winkel zur Resonatorachse, der bekannt ist unter der Bezeichnung "Brewsterwinkel". Welche Konsequenzen hat diese Anordnung für die Eigenschaften der Laseremission?

Frage 6

Nd:YAG Laser zählen zu den "Vierniveau-Lasern". Diskutieren Sie den Aufbau eines Lasers mit drei Niveaus. Können Sie sich einen Laser mit zwei Niveaus praktisch und physikalisch vorstellen?

Frage 2
Leiten Sie das Beer'sche Gesetz ab.

b) Spontane Emission
Moleküle oder Atome im Zustand $|2\rangle >$ (Dichte n_2) können durch Abstrahlen eines Photons mit der Frequenz ω in den Zustand $|1\rangle >$ übergehen.

$$\frac{\partial n_2}{\partial t} = -\frac{n_2}{\tau} \quad (5)$$

Frage 3
Wie groß schätzen Sie τ für erlaubte Übergänge? Rechnen Sie diese Zeit in die Kohärenzlänge um. Erörtern Sie die räumliche Ausstrahlcharakteristik (i) eines einzelnen Moleküls und (ii) eines Ensembles räumlich statistisch verteilter Moleküle.

c) Induzierte Emission
Moleküle oder Atome im Zustand $|2\rangle >$ können durch Einstrahlung von Photonen mit der Frequenz ω in den Zustand $|1\rangle >$ übergeführt werden. Die Energiedifferenz wird in Form eines Photons emittiert, das dieselbe Frequenz, Richtung und Phase wie das einfallende Photon besitzt.

$$\frac{\partial n_1}{\partial t} = \sigma' c n_2 n_q; \quad \frac{\partial n_q}{\partial t} = \sigma' c n_2 n_q \quad (6)$$

σ' = Wirkungsquerschnitt für stimulierte Emission (cm²)

Für ein Zweiniveausystem gilt :

$$\sigma' = \sigma \quad (7)$$

Frage 4
Vergleichen Sie die induzierte Emission mit der spontanen Emission:

- i) räumliche Ausstrahlcharakteristik
- ii) zeitliche Ausstrahlcharakteristik

Die Prozesse a) und b) lassen sich für ein Zweiniveausystem wie folgt zusammenfassen :

$$\frac{\partial n_q}{\partial t} = \sigma n_q c \cdot (n_2 - n_1) = \sigma n_q c \Delta n \quad (8)$$

Δn = Besetzungsinversion

Unter der Annahme $\frac{\partial n_1}{\partial t} = -\frac{\partial n_2}{\partial t} = 0$ und Berücksichtigung der Verluste δ pro Zeiteinheit durch Streuung, Absorption von Verunreinigungen oder anderen Systemverlusten, läßt sich Gl. (8) umschreiben:

$$n_q(t) = n_q(t=0) \cdot e^{\sigma(n_2 - n_1)t - \delta t} \quad (9)$$

Verstärkung des Lichtfeldes tritt auf für $\sigma(n_2 - n_1) > \delta$. Um dies zu erreichen, muß Niveau 2 stärker besetzt sein als Niveau 1 (Besetzungsinversion).

2.3 Der phasenkoppelte Nd:YAG Laser

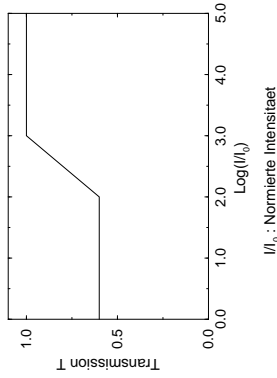
Sehr kurze Lichtimpulse (ca. 10^{-11} s) lassen sich durch Modenkopplung erzeugen. Dabei werden die einzelnen Moden des Resonators in eine feste Phasenbeziehung gebracht, sodaß ihre Fouriertransformation in einen zeitlich kurzen Lichtimpuls resultiert. Die Kopplung der Moden geschieht in diesem Aufbau mittels eines ausbleichbaren Absorbers, der zusätzlich im Laserresonator angebracht ist (A; siehe vorhergehende Abbildung) und dessen Moleküle in kurzer Zeit (ca. $10^{-11} - 10^{-12}$ s) vom angeregten Zustand in den Grundzustand relaxieren. Man erhält beim Zünden der Blitzlampen eine Folge von Einzelimpulsen mit folgenden Eigenschaften:

- Impulsdauer: ca. 10^{-11} s
- Impulsabstand: ca. $7 \cdot 10^{-9}$ s
- Spitzenintensitäten: ca. 10^8 W/cm^2
- Wellenlänge: $1.064 \mu\text{m}$ (nahe Infrarot)

Ihr Betreuer wird Ihnen das Entstehen der Impulse erklären. Sie sollten vorher in der Lage sein, das Ausbleichverhalten des Absorbers physikalisch zu begründen.

Frage 7

Erklären Sie folgende Transmissionscharakteristik eines ausbleichbaren Absorbers anhand des Modells mit zwei Energieniveaus.



I_0 : Normierte Intensität

3 Doppelbrechende nichtlineare Kristalle

3.1 Optische Doppelbrechung

Einzelheiten entnehmen Sie bitte der Literatur / 1, 3, 4 / . / 1 / beschreibt die optische Doppelbrechung theoretisch ausführlicher. Hier soll ein kurzer Überblick gegeben werden.

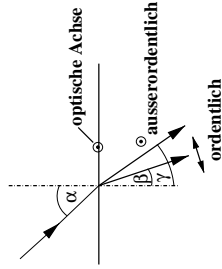
Man spricht von optischer Doppelbrechung, wenn der Brechungsindex eines Mediums von der Polarisation des eingestrahlenen Lichtes abhängt. Doppelbrechung tritt auf in Kristallen mit einer oder mehreren ausgezeichneten Richtungen, den optischen Achsen. In Kristallen mit einer optischen Achse wird

durch diese und die Ausbreitungsrichtung des Lichtes eine Ebene definiert. Ist nun Licht senkrecht zu dieser Ebene polarisiert, so wird die Lichtausbreitung durch den ordentlichen Brechungsindex n^o bestimmt, während für parallel polarisiertes Licht die Lichtausbreitung vom außerordentlichen Brechungsindex n^{eo} beeinflusst wird.

Frage 8

Machen Sie sich diesen Sachverhalt plausibel. Man muß den Brechungsindex als Antwort des Materials auf ein elektrisches Feld sehen.

Betrachten wir des weiteren einen Kristall, dessen optische Achse einen rechten Winkel zur Richtung eines Lichtstrahles einnimmt. Der Einfallswinkel auf den Kristall sei α .



Für unpolarisiertes Licht erhält man eine Aufspaltung in zwei Komponenten (in unserem speziellen Fall gilt $n^o > n^{eo}$) : ordentlicher und außerordentlicher Strahl.

Frage 9

Trennen Sie das elektrische Feld des unpolarisierten Lichtes in zwei Komponenten auf und erklären Sie mit Hilfe des Gesetzes von Snellius die Aufspaltung des Lichtbündels und die eingezeichneten Polarisationen der beiden Strahlen.

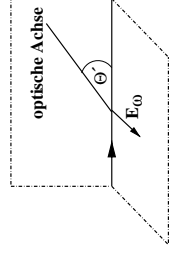
Für beliebige Winkel des Lichtstrahles zur optischen Achse wird unpolarisiertes Licht ebenfalls in einen ordentlichen und außerordentlichen Strahl aufgespalten. Während der ordentliche Strahl (senkrecht zur optischen Achse polarisiert) dem Brechungsgesetz gehorcht, gilt dies allgemein nicht mehr für den außerordentlichen Strahl (warum ?). Die Richtung des Wellenvektors stimmt außerdem nicht mit der der Phasengeschwindigkeit überein. Wir können uns dies folgendermaßen verdeutlichen: fällt Licht parallel zur optischen Achse ein, so breitet sich die Phase mit der Geschwindigkeit c/n^o aus. Senkrecht zur Achse erhält man für Strahlen mit außerordentlicher Polarisation die Phasengeschwindigkeit c/n^{eo} , also für $n^{eo} > n^o$ eine kleinere Geschwindigkeit.

Unter beliebigem Winkel Θ' zur optischen Achse beträgt v_x allgemein $c/n(\Theta')$, wobei gilt $/2/$:

$$\frac{1}{n(\Theta')^2} = \frac{\sin^2 \Theta'}{(n^{eo})^2} + \frac{\cos^2 \Theta'}{(n^o)^2} \quad (10)$$

3.2 Nichtlineare Kristalle

In Abschnitt 1.1 haben wir gesehen, wie durch hohe Lichtintensitäten die Summen- und Differenzfrequenzen erzeugt werden können. $\chi^{(1)}$ ist für einachsige nichtlineare Kristalle selbstverständlich ein Tensor und kann nicht mehr als Skalar angenommen werden. Für genaueres Studium des Tensors $\chi^{(1)}$ sei auf die Literatur verwiesen /2, 4/. Wir betrachten folgenden Fall:



Ein nichtlinearer, optisch einachsiger Kristall befindet sich im Strahlengang einer intensiven Lichtquelle. Der Winkel zwischen optischer Achse und Strahlrichtung sei Θ' . Die Polarisation des elektrischen Feldes der Lichtimpulse liegt senkrecht zur optischen Achse. Es handelt sich also um Lichtimpulse mit ordentlicher Polarisation:

$$\vec{E}_\omega^o = \vec{E}_\omega^o \cdot e^{i(\omega t - k_\omega x)} \quad (11)$$

$k_\omega = \frac{2\pi n^o(\omega)}{\lambda} = \frac{n^o(\omega)}{c}$, $\lambda =$ Wellenlänge des eingestrahnten Lichtes. Ansatz (11) ergibt eingesetzt in die Wellengleichung (3) Terme mit $\chi^{(2)}$, die elektrische Felder mit der Frequenz 2ω beschreiben (erste Oberwelle).

$$E_{2\omega}^o \propto \left[E_\omega^o \cdot e^{i(\omega t - k_\omega x)} \right]^2 = (E_\omega^o)^2 \cdot e^{i(2\omega t - 2k_\omega x)} \quad (12)$$

$k_\omega = \frac{\omega n^o(\omega)}{c}$
Die Polarisationsrichtung der ersten Oberwelle soll außerordentlich sein (Sie werden den Grund hierfür später sehen).

Wir müssen Ansatz (12) vergleichen mit der elektrischen Feldstärke eines Lichtstrahles, der sich im Kristall mit der Frequenz 2ω ausbreitet:

$$\vec{E}_{2\omega}^o = \vec{E}_{2\omega}^o \cdot e^{i(2\omega t - k_{2\omega} x)} \quad (13)$$

$$k_{2\omega} = \frac{2\pi n^o(\Theta', 2\omega)}{\lambda} = \frac{2\omega n^o(\Theta', 2\omega)}{c}$$

Zwei Fälle können auftreten:

Wellenvektorfehlanpassung:

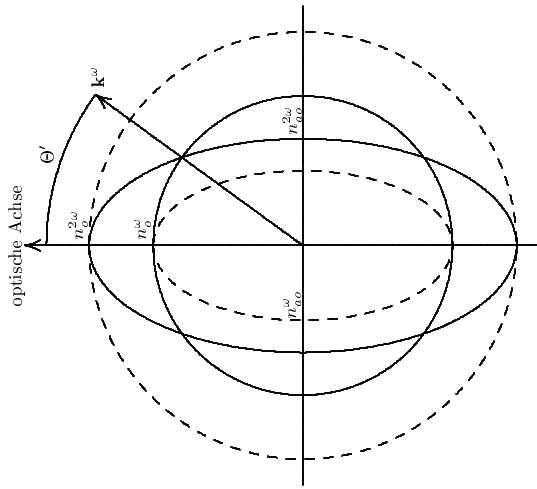
$$\Delta k = k_{2\omega} - 2 \cdot k_\omega \quad (14)$$

Wir wollen zunächst Fall b betrachten: Die Wellenvektorfehlanpassung Δk führt zu folgendem Effekt: die Phasen der am Ort x bzw. $x + \Delta x$ erzeugten ersten Oberwelle unterscheiden sich um $\Delta k \cdot \Delta x$. Frequenzverdoppeltes Licht an der Stelle x wird also im allgemeinen am Ort $x + \Delta x$, für den $\Delta k \cdot \Delta x = \pi$

$$= \frac{1}{(n^o)^2} + \left(\frac{1}{(n^o)^2} - \frac{1}{(n^e)^2} \right) \cdot \cos^2 \Theta'$$

Betrachten wir einen strahlenden Dipol in einem einachsigen doppelbrechenden Kristall. Die Phasen mit ordentlicher Polarisation werden sich wie im isotropen Medium auf Kugeloberflächen ausbreiten. Für die außerordentliche Polarisation jedoch erhalten wir ellipsoidförmige Flächen.

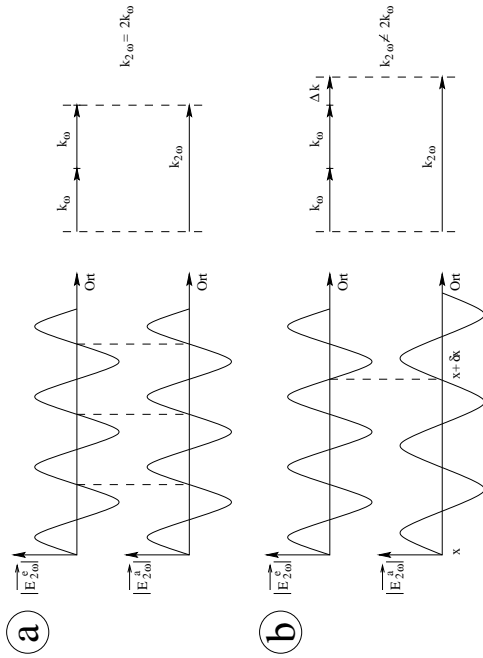
Dieses ist veranschaulicht in der folgenden Abbildung für den Fall der Phasenangepassung I. Art (Oberwelle (2ω) außerordentlich, Laser (ω) ordentlich polarisiert im nichtlinearen, doppelbrechenden Kristall):



Frage 10

Überlegen Sie mit Hilfe des Huygen'schen Prinzips, wie sich eine Wellenfront mit außerordentlicher Polarisation in einem einachsigen doppelbrechenden Kristall ausbreitet. Der Winkel zwischen optischer Achse und Wellenfront sei 45° . Für die Zeichnung: $n^e = 2 \cdot n^o$. Ermitteln Sie Θ' aus Ihrer Zeichnung.

Fassen wir zusammen: in einachsigen doppelbrechenden Kristallen spaltet sich unpolarisiertes Licht in einen ordentlichen und einen außerordentlichen Strahl auf. Während sich der ordentliche Strahl wie im isotropen Medium verhält, treten beim außerordentlichen Strahl Anomalien auf. Insbesondere lässt sich die Phasengeschwindigkeit durch Änderung des Winkels zwischen Strahlrichtung und optischer Achse des Kristalls verändern (Gleichung 10).



gilt, wieder abgebaut. Mittelt man diese Interferenzerscheinung über die Gesamtlänge l des Kristalls, so ergibt sich der Betrag der elektrischen Feldstärke $E_{2,\omega}$ bzw. Intensität $I_{2,\omega}$ des ersten Obertons am Ende des Kristalls l:

$$E_{2,\omega} \propto \frac{1}{l} \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} \cdot e^{i \Delta k x} dx = \frac{\sin(\Delta k \frac{l}{2})}{\Delta k \frac{l}{2}} \quad (15)$$

$$I_{2,\omega} \propto \left(\frac{\sin(\Delta k \frac{l}{2})}{\Delta k \frac{l}{2}} \right)^2$$

Frage 11 Diskutieren Sie den Verlauf der Funktion $y = \left(\frac{\sin x}{x}\right)^2$.

Für $\Delta k \cdot \frac{l}{2} = 0$, also $k_{2,\omega} = 2k_\omega$ erhält man maximale Intensität der ersten Oberwelle (Fall a). Dies können Sie im Praktikum durch abstimmen des außerordentlichen Brechungsindex n^{eo} für die erste Oberwelle erreichen (Gleichung 10), also durch entsprechende Orientierung der Kristallachse bezüglich der Strahlrichtung:

$$\Delta k = 0 \leftrightarrow k_{2,\omega} = 2k_\omega \quad \text{oder} \quad n_\omega^o = n_{2,\omega}(\Theta') \quad (16)$$

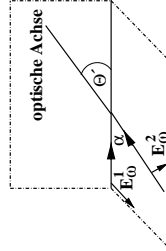
Für den Abgleichwinkel Θ' erhält man somit die Beziehung (siehe Gleichung 10):

$$\frac{1}{(n_\omega^o)^2} - \frac{1}{(n_{2,\omega}^o)^2} = \cos^2 \Theta' \quad (17)$$

Frage 12 Welche Veränderungen treten in den Gleichungen (11) bis (17) auf, wenn Sie zwei Strahlen gleicher Frequenz unter einem kleinen Winkel α im Kristall kreuzen? Wie ändern sich die Gleichungen bei zeitlicher Verzögerung t_D des einen Strahles gegenüber dem anderen?

3.3 Autokorrelationsmessungen

Wir haben im letzten Abschnitt gesehen, wie in einem nichtlinearen Kristall die erste Oberwelle eines Lichtimpulses erzeugt werden kann. Neben dem Energieerhaltungssatz, der die Frequenz der ersten Oberwelle bestimmt, mußte für maximale Intensität der Oberwelle erfüllt sein: $k_{2,\omega} = 2k_\omega$. Zur Autokorrelationsmessung teilen wir den Laserlichtimpuls in zwei Strahlen gleicher Polarisation auf, die sich im Kristall unter einem Winkel α kreuzen.



Frage 13 Unter welcher Richtung erwarten Sie bei zeitlicher Koinkidenz der beiden Strahlen 1 und 2 im Kristall die kombinierte erste Oberwelle (Autokorrelationsstrahl)?

Sie haben vorher die optische Achse des Kristalls auf maximale Energie der ersten Oberwelle für Strahl 1 justiert: $\Delta k = 0$. Berechnen Sie für diese Konstellation die Wellenvektorfehlanpassung Δk des Autokorrelationsstrahles. In welche Richtung müssen Sie die optische Achse des Kristalls drehen, um für die Korrelationsmessung $\Delta k = 0$ zu erreichen? Brechungsgesetz beachten (Brechungsindex $n^o > n^{eo}$, Winkel $\alpha = 6,7^\circ$). Die Energie $W^{2\omega}$ des Autokorrelationsstrahles, die sich aus den beiden Laserlichtimpulsen (Intensität I_ω) ergibt, läßt sich bei Phasenanpassung wie folgt beschreiben:

$$W^{2\omega}(t_D) \propto \int_{-\infty}^{\infty} I_L^o(t - t_D) \cdot I_L^o(t) dt \quad (18)$$

$$I_L(t) = \frac{1}{2\Delta t} \int_{t-\Delta t}^{t+\Delta t} I_\omega(t') dt'$$

Dabei ist zu beachten:
 a) die Amplitude E_ω^o des elektrischen Feldes ändert sich langsam gegenüber $\frac{2\pi}{\omega}$ (warum?)

b) Während der Integrationszeit Δt soll sich E_ω kaum ändern. Andererseits muß gelten: $\Delta t \gg \frac{2\pi}{\omega}$. Die Funktion 18 wird im Folgenden als Autokorrelationsfunktion bezeichnet.

Frage 14

Vergleichen Sie $W^{2h}(t_D)$ mit $W^{2h}(-t_D)$.

Der Nd:YAG Laser liefert annähernd gaußförmige Impulse:

$$I_L(t) = I_0 \cdot e^{-\left(\frac{2\sqrt{\ln 2}}{\tau_L} t\right)^2} = I_0 \cdot e^{-At^2} \quad (19)$$

$A = \frac{4 \ln 2}{\tau_L^2}$, τ_L : Halbwertsbreite des Laserlichtimpulses.

Gleichungen (18) und (19) ergeben zusammen:

$$\begin{aligned} W^{2h}(t_D) &\propto \int_{-\infty}^{\infty} e^{-A(t-t_D)^2} \cdot e^{-At^2} dt = \quad (20) \\ &= \underbrace{e^{-\frac{4}{\tau_L^2} t_D^2}}_I \cdot \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} e^{-2At^2} dt}_{II} \end{aligned}$$

Die Abhängigkeit der Autokorrelationsfunktion von der Verzögerungszeit t_D wird durch den Term I bestimmt. Er beschreibt eine gaußförmige Funktion, deren Halbwertsbreite τ'_L gegenüber τ_L um den Faktor $\sqrt{2}$ größer ist:

$$\tau'_L = \sqrt{2} \cdot \tau_L \quad (21)$$

Frage 15

Kann die Form des Laserimpulses aus der Autokorrelationsfunktion gewonnen werden? Welche Aussagen können Sie mit Hilfe der Autokorrelationsfunktion machen und welche nicht?

4 Literatur

- /1/ Born und Wolf, Principles of Optics (1975)
- /2/ Yariv, Quantum Electronics (1968)
- /3/ Shewandrow, Doppelbrechung von Kristallen (1973)
- /4/ Zernike, Applied Nonlinear Optics (1973)
- /5/ Paul, Nichtlineare Optik I (1973)
- /6/ Kittel, Einführung in die Festkörper Physik

5 Gefahrenquellen

Bei diesem Praktikumsversuch ist zu beachten:

- a) die Spannungsversorgung der Blitzlampen liefert hohe Spannungen ($\approx kV$) und hohe Ströme ($\geq 100A$),
- b) das intensive Laserlicht kann zu Schädigungen der Augen führen.

Zu a:

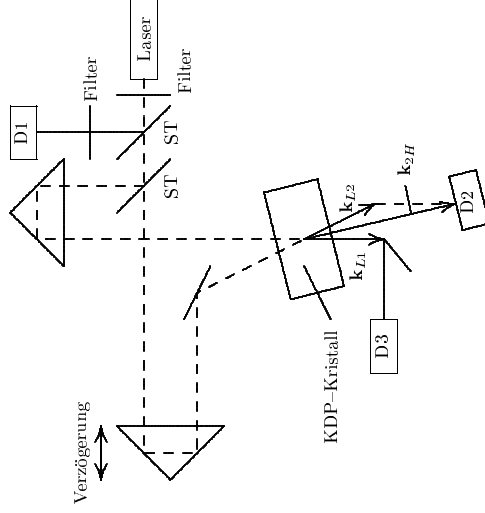
Öffnen Sie auf keinen Fall die Abdeckhaube des Lasers. Berühren Sie nicht hochspannungsführende Leitungen. Holen Sie bei Auftreten einer Störung den Betreuer.

Zu b:

Schauen Sie nie in Richtung der Lichtbündel durch Öffnen der Deckel, über die Filter und der Kristall zugänglich sind. Auch reflektiertes Laserlicht kann gefährlich werden. Arbeiten Sie nur mit dem Laser, wenn alle Abdeckungen geschlossen sind. Der Laser kann und darf nicht betrieben werden, wenn die Sicherheitsabdeckungen geöffnet sind.

6 Beschreibung der Experimente

Den experimentellen Aufbau zeigt schematisch die folgende Skizze:



- KDP: Kaliumdihydrogenphosphat-Kristall
- P: Prismen
- ST: Strahlteiler
- KP: Glaskübelplatte
- F: Filter
- L: Linse
- Bl: Blende

D1 - D3: Detektoren

Als Hilfsmittel stehen Ihnen zur Verfügung:

- 1) Ein phasegekoppelter Nd:YAG Laser, der kollinear zu einem Gaslaser (Helium-Neon) justiert ist und einen Impuls mit einer Impulsdauer von ca. $1.2 \cdot 10^{-11}$ s liefert;
- 2) Ein KDP-Kristall (Kaliumhydrogenphosphat), dessen optische Achse in der Einfallsebene des Strahles 1 liegt (Länge des Kristalles: 4,5 mm);
- 3) Eine mechanische Verzögerungsstrecke zur Ermittlung der Autokorrelationsfunktion;

Frage 16

Welcher Verzögerungsstrecke entspricht eine Zeit von 10^{-12} s ?

- 4) Zum Abschwächen der Intensitäten planparallele Filter, die keine Winkelversetzung im Kristall verursachen;
- 5) Ein Spezialfilter, der die Impulse des Lasers stark absorbiert, jedoch die erste Oberwelle transmittiert;
- 6) Filter zum Abschwächen der Intensitäten vor den Detektoren;
- 7) Ein PC mit Datenaufnahme zum Registrieren der in den Detektoren erzielten elektrischen Signale. Für die Versuche stehen zwei Programme zur Verfügung:

- i "justier": Dieses Programm zeigt als Balkenmonitor in drei Zeilen für eine einzelebene Zahl von zu mittelnden Laserschüssen die gemessene Laserenergie (Detektor D1, Zeile 1), die gemessene Intensität der ersten kombinierten Oberwelle (Autokorrelationsignal, Detektor D2, Zeile 2) und die erste Oberwelle (Detektor D3, Zeile 3, Versuche 1 und 2).
Dieses Programm ermöglicht es, entsprechende Filter vor den Detektoren anzubringen, sodas diese nicht in Sättigung kommen (Anzeige < 1900) und erleichtert das Finden der gesuchten Signale zur Grobjustage. Das Programm kann durch Drücken einer beliebigen Taste auf der Tastatur des PC verlassen werden. Vor jedem Versuch muß mit diesem Programm das maximale Signal gesucht werden und eine Filterkombination vor dem jeweiligen Detektor gefunden werden, sodas Sättigung (Anzeige < 1900) vermieden wird bei gleichzeitig möglichst großem Dynamikbereich (Anzeige > 1000).

- ii "messen": Ermöglicht die rechnergesteuerte Datenaufnahme der Detektorsignale, es werden die jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen über eine einzelebene Anzahl der zu mittelnden Laserschüsse angezeigt. Dabei werden nur Laserschüsse berücksichtigt, bei denen die gemessene Laserenergie die im Programm abgefragte untere Schranke überschritten hat. Die angezeigten Werte ergeben sich aus der Mittelung der normierten Meßwerte $I_{2,\omega}/I_{1,\omega}^2$ und den daraus sich errechneten Standardabweichungen.

Da die Daten auf der Festplatte des Mesrechners gespeichert werden, besteht die Möglichkeit, diese auf einer mitgebrachten MS-DOS formatierten Diskette (3 1/2" oder 5 1/4") zu speichern zur weiteren Bearbeitung.

Frage 17

Warum ist es sinnvoll, die normierten Meßsignale aufzutragen?

Mit Drücken einer beliebigen Taste kann der nächste Meßpunkt aufgenommen werden. Das Programm kann durch Drücken der Taste "q" jederzeit verlassen werden.

Versuch 1

Bestimmen Sie die Intensität der ersten Oberwelle in Abhängigkeit von der Orientierung des Kristalles. Dazu drehen sie den Kristall, welcher auf einem Präzisionsdrehtisch befestigt ist. Der Hebelarm des Drehtisches beträgt 6 cm. Achten Sie auf ein genaues Vermessen des Hauptmaximums und der Minima. Es soll symmetrisch bis mindestens zu den Nebenmaxima 2ter Ordnung gemessen werden. Auf geeignete Filterwahl vor dem Detektor D3 ist zu achten. Pro Winkelstellung soll über mindestens 40 Laserschüsse gemittelt werden.

Versuch 2

Bestimmen Sie die Intensität der ersten Oberwelle in Abhängigkeit von der Intensität des Laserimpulses. Die Versuchsanordnung entspricht derjenigen in Versuch 1. Der Kristall muß ins Hauptmaximum abgestimmt werden ($\Delta k = 0$). Entnehmen Sie immer mehr Filter vor dem Detektor D1 und stellen Sie diese in den Strahlengang zum KDP-Kristall. Messen Sie für mindestens sechs unterschiedliche Filterkombinationen.

Versuch 3

Messen Sie die Autokorrelationsfunktion der Laserimpulse aus dem Nd:YAG Laser mit Hilfe der variablen Verzögerungsstrecke. Sie haben sich in der Anleitung überlegt:

Die Strahlrichtung der kombinierten ersten Oberwelle (Autokorrelationsstrahl) aus Strahl 1 und Strahl 2. Mit Hilfe des "Justier"- Programms können Sie die Orientierung der optischen Achse des Kristalls für diese Messung optimieren.

7 Versuchsauswertung

- 1) Skizzieren Sie die Intensität der ersten Oberwelle in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Kristalls auf halblogarithmischem Papier (Mittelwert mit Standardabweichung).
Bestimmen Sie die Breite des Hauptmaximums für $\Delta k = \pi/2$ und den Abstand der beiden Minima. Vergleichen Sie mit theoretischen Werten ($n^o(0.532\mu m) = 1.47040$; $n^o(0.532\mu m) = 1.51213$; $n^o(1.064\mu m) = 1.49381$; $l = 4.5$ mm; Hebelarm des Drehtisches beträgt 60 mm). Dazu müssen Sie berechnen:
 - a) den Winkel θ' für die Wellenvektoranpassung. Die Kristalloberfläche

sei in erster Näherung senkrecht zum Lichtstrahl orientiert. Ordnen Sie Θ Ihrer Skizze zu:

- b) entsprechende innere Winkel für die ermittelte Breite des Hauptmaximums und den Abstand der Minima;
- c) Wellenvektorfehlpassung Δk für die unter b) erhaltenen Werte.

Ermitteln Sie experimentell das Verhältnis Intensität im Nebenmaximum zu Intensität im Hauptmaximum. Vergleichen Sie mit dem theoretischen Wert.

- 2) Zeichnen Sie die Intensität der ersten Oberwelle als Funktion der Laserintensität auf doppellogarithmisches Papier. Welchen Verlauf erwarten Sie (Begründung!) und welche Abhängigkeit ermitteln sie durch lineare Regression an die Meßwerte in dieser Darstellung.
- 3) Die Autokorrelationsfunktion soll zuerst linear auf Millimeterpapier und dann auf halblogarithmisches Papier in Abhängigkeit von der Verzögerungszeit gezeichnet werden. Vergleichen Sie den Kurvenverlauf in der letzteren Auftragung mit einer Parabel (quadratische Regression der logarithmierten Werte!). Welche Dauer der Laserimpulse entnehmen Sie der Autokorrelationsfunktion?



SICHERHEITSBELEHRUNG

Der zu bearbeitende Versuch wird mit Laborgerten ausgeführt, deren Betriebssicherheit mit anderen Maßstäben zu beurteilen ist als bei Hausgeräten. Es wird Sachkenntnis beim Bedienen der Apparatur vorausgesetzt, um das persönliche Sicherheitsrisiko der Experimentatoren gering zu halten. Bei dem Versuch entsteht ein Gefährtnisrisiko insbesondere durch

HOCHSPANNUNG und LASERSTRAHLUNG.

Während einer Blitzzampentladung fließen Ströme im Bereich von einigen **100 A** bei einer Spannung von ca. **1000 V**. Auch Reflexe der sichtbaren und unsichtbaren Laserstrahlung können wegen der hohen Intensitäten Schädigungen der Netzhaut hervorrufen!

Beachten sie bitte folgende einfache Regeln:

- 1) Erst Denken, dann Handeln!
- 2) Vertrauen sie niemals auf die Funktionstüchtigkeit von Kabelisolierungen, Anzeigen, etc. Deshalb keine Kabel, BNC-Leitungen, usw. berühren. Im Falle, daß der Laser nicht funktioniert, Betreuer des Praktikum-Versuches zu Hilfe holen und nicht selbst versuchen den Fehler zu finden.
- 3) Der Laser ist in einem Metallgehäuse gekapselt und über Sicherheitsschalter abgesichert. **Niemals** während des Laserbetriebes dieses Gehäuse öffnen, da wegen der hohen Spannungen und Ströme unmittelbare Gefahr besteht!
- 4) Die Einstellungen der Netzgeräte des Lasers dürfen von den Experimentatoren nicht verändert werden.
- 5) Der Versuch selber ist in einem Gehäuse gekapselt, sodaß keine Laserstrahlung in den Raum dringen kann. Filterhalter und Mikrometerschraube zur Verdrehung des Kristalls sind über 2 Klappen erreichbar, die über Sicherheitsschalter den Laser beim Öffnen ausschalten. **Niemals** die Sicherheitsschalter überbrücken beim Betrieb des Lasers. Sollte der Laser trotz geöffneten Klappen nicht ausgehen, Klappen schließen und sofort den Betreuer holen.

Lesen diese Sicherheitsbelehrung aufmerksam durch und fragen sie ihren Betreuer, wenn ihnen Einzelheiten unklar sind.

Von den vorstehenden Sicherheitsregeln habe ich Kenntnis genommen.

Garching, den

Unterschrift:

Name:

Matrikelnummer: