

# Вопрос по выбору

## Генерация второй гармоники в нелинейном кристалле

Киркича Андрей, Б01-202, МФТИ

**Цель работы:** изучение нелинейного оптического явления – генерации второй гармоники.

**В работе используются:** лазер, нелинейный кристалл  $\text{LiIO}_3$ , система ориентации кристалла (гониометр), система регистрации излучения.

### Теоретическая справка

При воздействии достаточно мощного светового пучка от лазера возникает смещение зарядов в атом, появляется индуцированный дипольный момент. Имеем уравнение движения:

$$m\ddot{x} = eE_0 \cos \omega t + F(x), \quad \text{где } F(x) - \text{возвращающая сила.}$$

В общем случае  $F(x)$  можно разложить в ряд Тейлора. Если учитывать нелинейные члены, осциллятор становится ангармоническим. Учтём квадратичный член:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = \frac{e}{m} E + \frac{F''(0)}{2m} x^2, \quad \text{где } \omega_0^2 = \frac{b}{m}$$

Такое уравнение можно решить сначала в нулевом приближении, а затем подставить это решение в ангармонический член:

$$x_0(t) = \frac{\frac{e}{m} E_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \cos \omega t,$$
$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = \frac{e}{m} E(t) + \frac{F''(0)}{2m} x_0^2(t).$$

Решение будет содержать слагаемые с частотами 0 и  $2\omega$ . Нелинейные колебания электронов приводят к нелинейности материального уравнения.

Пусть волна частоты  $\omega$  распространяется вдоль оси  $Z$ . Для диполя, расположенного в плоскости  $z$ , колебания с частотой  $2\omega$  описываются функцией

$$X^{(2\omega)}(t, z) = A^2 \cos\left[2\omega\left(t - \frac{n(\omega)}{c}z\right)\right].$$

Такой диполь излучает вторичную волну, фаза которой в точке  $z' > z$  внутри нелинейной среды отличается на величину

$$2\omega \cdot n(2\omega) \frac{z' - z}{c} \Rightarrow \varphi(z') = 2\omega \left[ t - \frac{n(2\omega)}{c} z' + (n(2\omega) - n(\omega)) \frac{z}{c} \right].$$

При выполнении условия пространственной синфазности

$$n(2\omega) - n(\omega) = 0$$

все вторичные волны в точке  $z'$  синфазны и амплитуда  $E_0^{(2\omega)}$  пропорциональна  $z'$ . Это обеспечивается, если основная волна - обыкновенная, а волна второй гармоники - необыкновенная. В этом случае для отрицательного кристалла будет пересечение эллипсоида  $n_e(2\omega)$  со сферой  $n_o(\omega)$ .

В направлении  $\Theta_0$  с оптической осью (угол синхронизма)  $n_o(\omega) = n_e(2\omega)$ . Угол синхронизма можно найти из системы:

$$\begin{cases} n_o(\Theta) = \text{const} \\ n_e(\Theta) = n_o \left[ 1 + \left( \frac{n_o^2}{n_e^2} - 1 \right) \sin^2 \Theta \right]^{-1/2} \end{cases}.$$

В работе используется кристалл иодата лития – отрицательный одноосный, показатели преломления для обыкновенной и необыкновенной волн представлены в таблице ниже.

$\lambda$ , нм	$n_o$	$n_e$
1064	1,8517	1,7168
532	1,8978	1,7475

Таблица 1: Показатели преломления для обыкновенной  $n_o$  и необыкновенной  $n_e$  волн в кристалле иодата лития

Интенсивность второй гармоники пропорциональна

$$I^{(2\omega)} \sim \omega^4 \sin^2 \Theta (I^{(\omega)})^2, \quad (1)$$

где  $\Theta$  - угол между направлением распространения луча и оптической осью.

Также покажем, как влияет отклонение света от направления синхронизма на интенсивность второй гармоники.

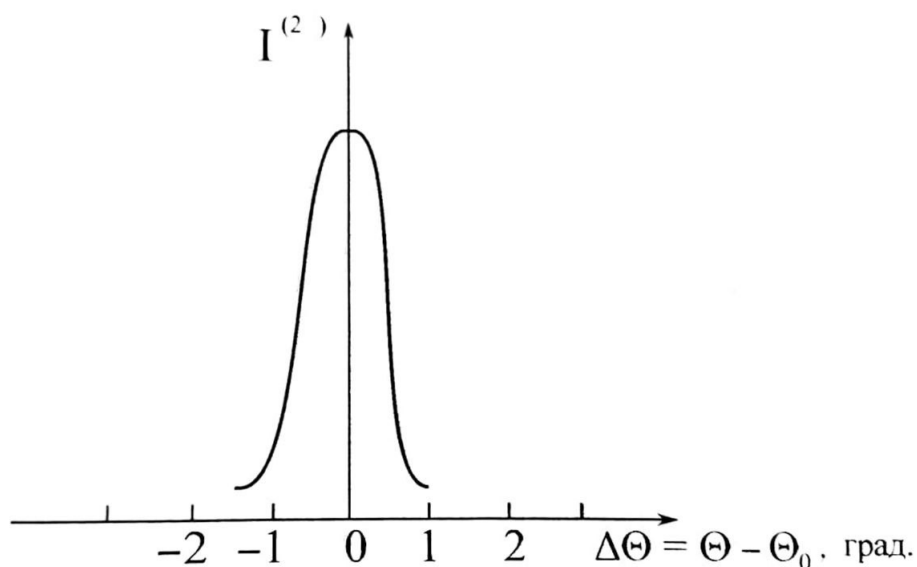


Рис. 1: Зависимость интенсивности второй гармоники  $I^{(2\omega)}$  от угла  $\Delta\Theta = \Theta - \Theta_0$  в нелинейном кристалле

Коэффициент преобразования во вторую гармонику рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{\Delta I(\omega)}{I(\omega)} \quad (2)$$

## Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки представлена ниже.

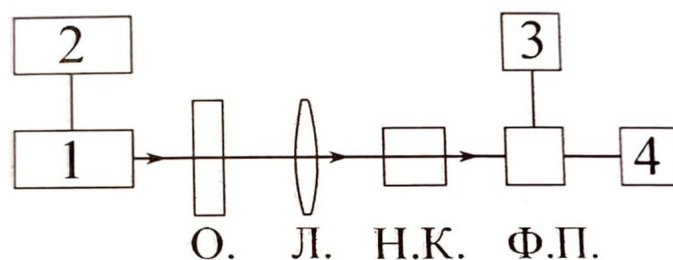


Рис. 2: Экспериментальная установка

Излучение лазера 1, проходя ослабитель О и линзу-корректор Л, попадает в нелинейный кристалл НК, где частота его удваивается. Излучение удвоенной частоты попадает в фотоприёмник ФП и регистрируется осциллографом 4. Элементы 2 и 3 - питание.

## Ход работы

В начале был отъюстирован гониометр. Включив лазер и установив тефлоновый фильтр на фотоприёмник, мы наблюдали картину импульсов на экране осциллографа. Излучение лазера  $\lambda = 1064$  нм имело круговую поляризацию – это было установлено инфракрасным поляроидом.

После градуировки ослабителя на столик гониометра мы установили нелинейный кристалл так, чтобы на тефлоновом фильтре появилось зелёное излучение. С помощью поляроидов для инфракрасного и видимого света было определено, что поляризация зелёного света – круговая, а поляризация генерирующего излучения 1064 нм – линейная.

Затем мы сняли зависимость интенсивности линий второй гармоники  $\lambda = 532$  нм от интенсивности возбуждающей линии  $\lambda = 1064$  нм (предварительно был поставлен зелёный фильтр). Полученные данные представлены в таблице ниже, зависимость отражена на графике.

Ширина пучка, мм	$5,0 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,1$	$1,2 \pm 0,1$
$I_{1064}$ , В	$45,5 \pm 0,5$	$45,0 \pm 0,5$	$44,5 \pm 0,5$	$44,0 \pm 0,5$
$I_{532}$ , мВ	$1,60 \pm 0,05$	$1,55 \pm 0,05$	$1,40 \pm 0,05$	$1,15 \pm 0,05$

Таблица 2: Зависимость линии второй гармоники  $\lambda = 532$  нм от интенсивности возбуждающей линии  $\lambda = 1064$  нм

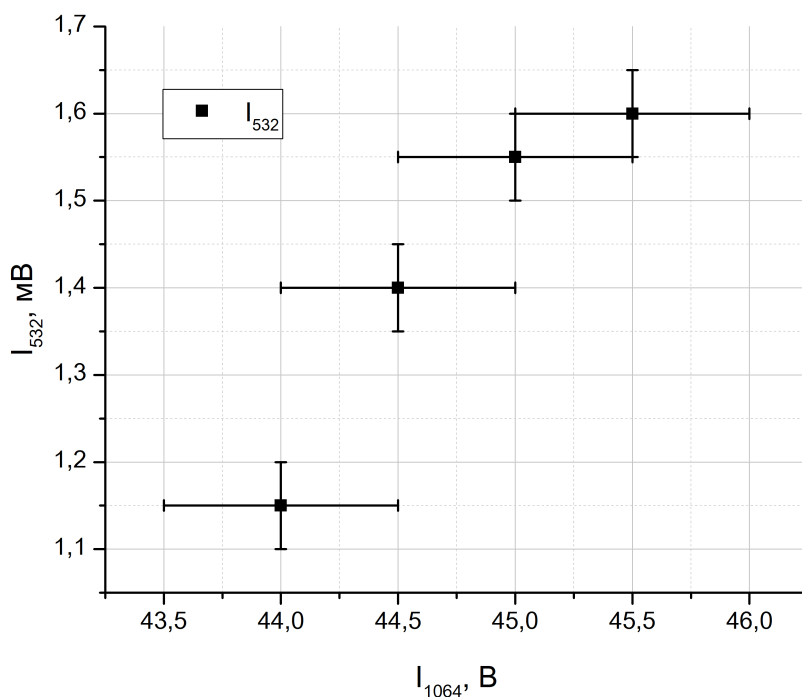


Рис. 3: График зависимости  $I_{532} = f(I_{1064})$

Затем при помощи была найдена зависимость второй гармоники от угла между направлением распространением луча и направлением синхронизма. Снятые данные и соответствующий график приведены ниже. Погрешность  $\Theta$  мы взяли за  $1'' \approx 0,0003$  град, у  $\Delta\Theta - 0,0006$  град, чтобы не загромождать таблицу, вынесем их отдельно.

$\Theta$ , град	$\Delta\Theta$ , град	$I_{532}$ , мВ
$\Theta_0 = 348,354$	0,000	$1,55 \pm 0,05$
348,321	0,033	$1,45 \pm 0,05$
348,308	0,045	$1,35 \pm 0,05$
348,295	0,059	$1,25 \pm 0,05$
348,284	0,069	$1,15 \pm 0,05$
348,278	0,076	$1,05 \pm 0,05$
348,269	0,085	$0,95 \pm 0,05$

Таблица 3: Зависимость интенсивности второй гармоники  $I_{532}$  от угла  $\Delta\Theta$  между направлением распространения луча  $\lambda = 1064$  нм и направлением синхронизма

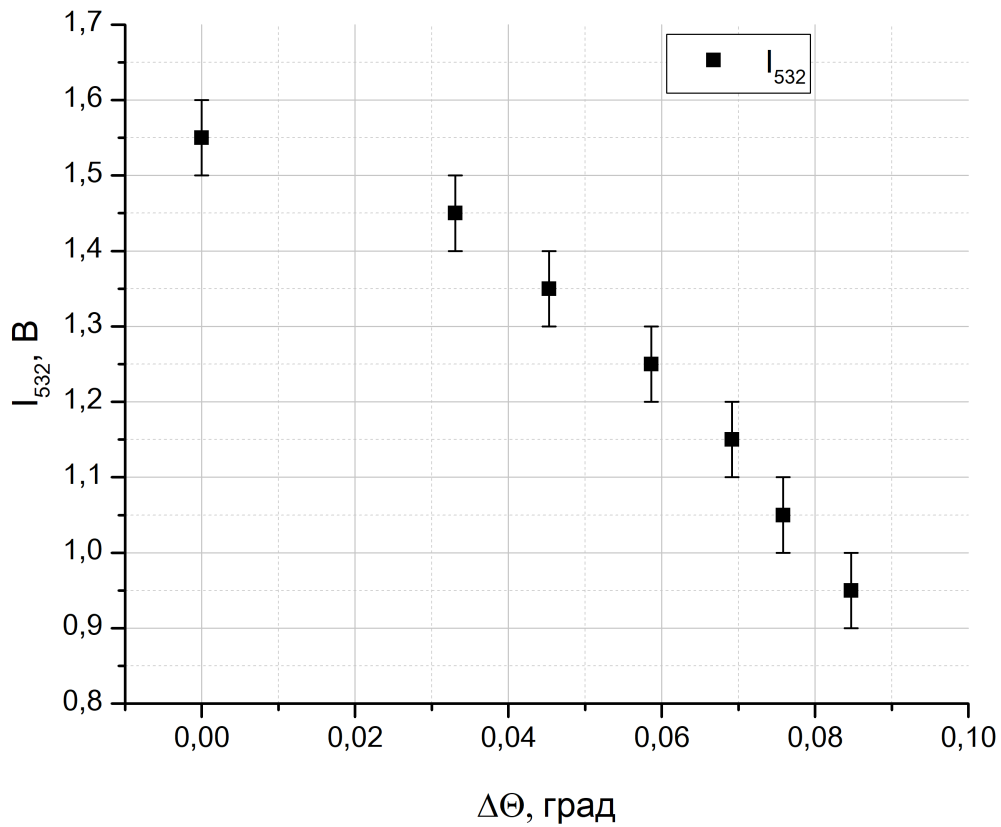


Рис. 4: График зависимости  $I^{(2\omega)} = f(\Delta\Theta)$

В последнем пункте работы мы измерили интенсивность возбуждающей линии, прошедшей через кристалл в случаях, когда излучение  $\lambda = 532$  нм и когда оно практически отсутствует (для этого поворачивали кристалл), а затем вычислили коэффициент преобразования во вторую гармонику по формуле (2):

$$K = \frac{32 - 31}{32} = 0,03 \pm 0,07.$$

## Заключение

Зависимость  $I_{532} = f(I_{1064})$ , полученная в первом пункте работы, визуально отличается от теоретической (1), но с учётом погрешностей через неё предположительно можно провести параболу. Расхождение может быть связано с плохим качеством системы: линза-корректор болталась на оптической скамье, отклоняясь от оси системы и изменяя интенсивность излучения. Эта особенность была замечена ближе к концу работы. Градуировка ограничителя, закреплённого на этой линзе, не была проделана заново.

График  $I^{(2\omega)}(\Delta\Theta)$  хорошо повторяет теоретическую зависимость в правой половине. Это говорит о хорошей юстировке гониометра, и можно предполагать, что левая часть зависимости также будет точно приближена экспериментальными точками.

В последнем пункте работы было получено очень приближённое значение коэффициента  $K$  с погрешностью, превосходящей значение. Предложенный метод имеет крайне низкую точность, поэтому стоит использовать другие способы измерения интенсивностей.