



КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ  
ВОПРОС ПО ВЫБОРУ, 4 СЕМЕСТР

## Генерация второй гармоники в нелинейном кристалле

МФТИ 2019

Студенты  
Ян ЛОГОВСКИЙ  
Мария ЧИКУНОВА

Преподаватель  
Владимир Владимирович  
УСКОВ

# 1 Теория

Начнём с выявления причины появления второй гармоники. Для этого нам придётся рассмотреть электрон в решётке кристалла как линейный осциллятор. Он совершает вынужденные колебания под действием внешнего электрического поля  $E(t)$  светового излучения лазера и возвращающей силы  $F(x)$ :

$$m\ddot{x} = eE(t) + F(x) \quad (1)$$

При больших  $x$ , решая (1), необходимо учитывать не только линейный по  $x$  член в разложении  $F(x)$ , но и квадратичный. В таком случае решение будет иметь вид:

$$x(t) = \frac{\frac{e}{m} E_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \cos(\omega t) + \frac{F''(0)}{4m\omega_0^2} \left[ \frac{\frac{e}{m} E_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \right]^2 + \frac{F''(0)}{4m} \left[ \frac{\frac{e}{m} E_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \right]^2 \frac{\cos 2\omega t}{\omega_0^2 - (2\omega)^2} \quad (2)$$

Видим, что здесь появляется вторая мода колебаний с частотой  $2\omega$ . А так как вторичные волны появляются как раз за счёт колебаний электронов, то на выходе из нелинейного кристалла получаем свет с двумя длинами волн:  $\lambda = \frac{2\pi c}{\omega}$  и  $\lambda/2$ .

В большинстве случаев из-за дисперсии волны с  $\omega$  и  $2\omega$  распространяются с разными показателями преломления. Для наибольшей интенсивности излучения второй гармоники необходимо, чтобы  $\Delta n = n(2\omega) - n(\omega) = 0$ , чтобы исключить интерференцию вторичных волн.

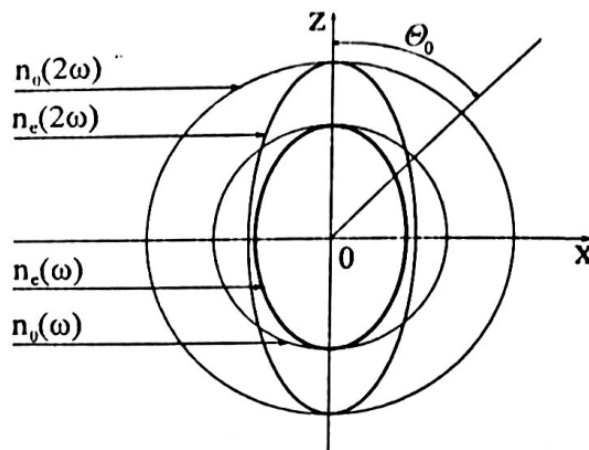
Этого можно достичь, воспользовавшись свойствами анизотропных кристаллов:

- в них волна расщепляется на обыкновенную с  $n_0$  и необыкновенную с  $n_e$
- в области нормальной дисперсии -  $\frac{dn}{d\omega} > 0$ , откуда получаем  $n(2\omega) > n(\omega)$
- показатель преломления необыкновенной волны зависит от направления распространения, поэтому, построив сечение поверхности  $n_e(\omega)$  в координатах направлений распространения волны в кристалле получим эллипс, а не окружность как в случае обыкновенной волны.
- в отрицательных кристаллах  $n_e - n_0 < 0$  в направлениях, отличных от оптической оси (ось, где распространяющийся луч не испытывает двойного лучепреломления - на рисунке ось Z).

При достаточной величине двулучепреломления  $|n_e - n_0|$  возможно пересечение эллипса  $n_e(2\omega)$  и сферы  $n_0(\omega)$ . Тогда в получившемся направлении  $\theta_0$  с оптической осью для *отрицательных* кристаллов получим

$$n_0(\omega) = n_e(2\omega) \quad (3)$$

Угол  $\theta_0$  называется углом синхронизма, именно в направлении  $\theta_0$  с оптической осью можно наблюдать генерацию второй гармоники. Небольшое отклонение от данного направления ведёт к быстрому затуханию данной гармоники, что будет видно при исследовании зависимости  $I_{2\omega}(\Delta\theta)$ .



## 2 Установка

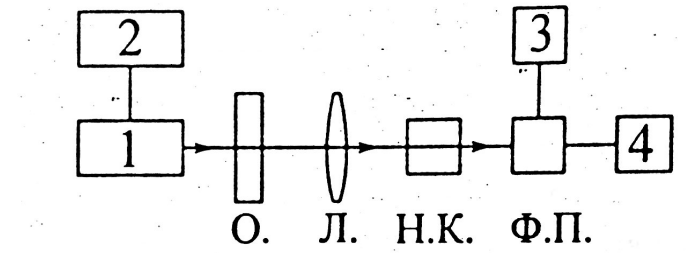


Рис. 6: Схема установки для изучения второй гармоники.

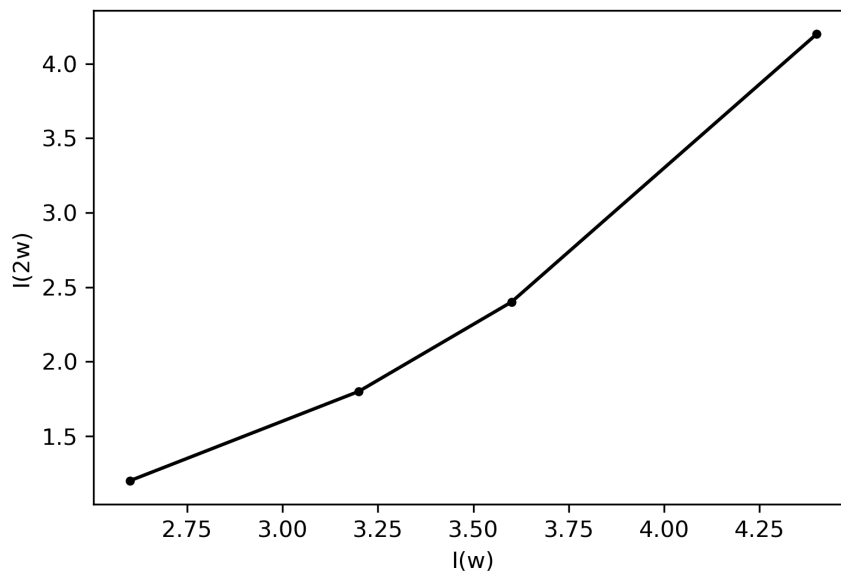
Излучение лазера 1, пройдя ослабитель О. и линзу-корректор Л., попадает в нелинейный кристалл Н.К., где его частота удваивается. Излучение удвоенной частоты далее попадает в фотоприёмник Ф.П. и регистрируется осциллографом 4.

## 3 Интенсивность второй гармоники от интенсивности возбуждающей

В данной таблице показаны значения интенсивности основной и второй гармоники от номера ослабителя, откуда можем построить зависимость  $I_{2\omega}(I_{\omega})$ .

Как видно из формулы (1) - слагаемое с удвоенной частотой содержит амплитуду возбуждающей волны в квадрате. Следовательно, интенсивность излучения  $I_{2\omega}$  будет пропорциональна квадрату интенсивности  $I_{\omega}$ . На графике интенсивности измерены в относительных величинах, однако качественно можно наблюдать, что наклон графика растёт, что соответствует квадратичной зависимости.

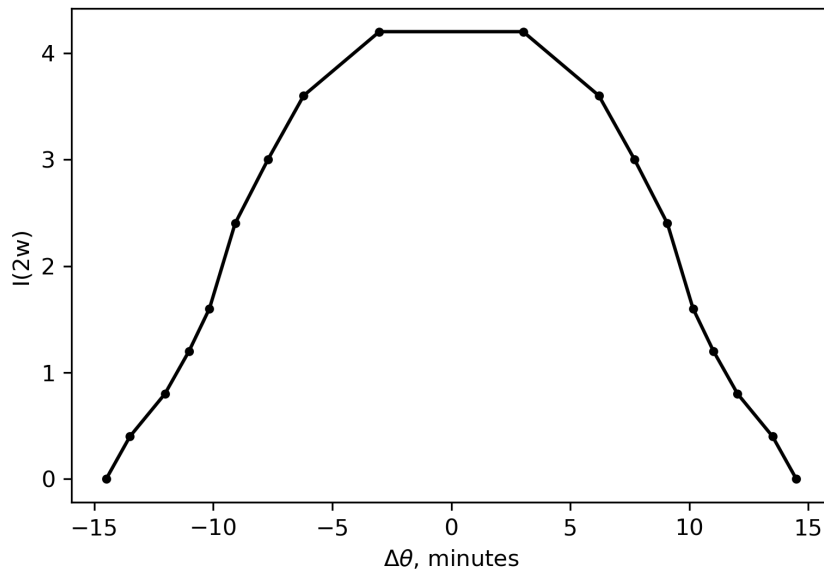
n	1	2	3	4
$I_{\omega}$	4.4	3.6	3.2	2.6
$I_{2\omega}$	4.2	2.4	1.8	1.2



## 4 Исследуем зависимость $I_{2\omega}(\Delta\theta)$

При отклонениях от угла синхронизма  $\theta_0$  интенсивность второй гармоники быстро падает. Это вызвано большим влиянием расходимости световых пучков.

$\Delta\theta$ , grad	3'1"	6'11"	7'42"	9'05"	10'10"	11'01"	12'02"	13'32"	14'31"
$I_{2\omega}$	4.2	3.6	3	2.4	1.6	1.2	0.8	0.4	0



## 5 Находим коэффициент преобразования

Интенсивность света с двумя компонентами  $I_{\omega+2\omega} = 7.8$

Интенсивность света без второй гармоники  $I_{\omega} = 7.6$

Откуда коэффициент преобразования  $K = \frac{\Delta I}{I} = 0.0256 \approx 2,6\%$

## 6 Вывод

Мы исследовали эффект генерации второй гармоники. Постановкой эксперимента убедились в наличии определённого направления в кристалле, в котором возможна генерация. Применили на практике способ преобразования инфракрасного излучения в видимое.