

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова  
Физический факультет  
Кафедра физики колебаний

Курсовая работа по акустооптике  
на тему:

# **Обработка изображений с помощью перестраиваемых АО фильтров на кристалле парателлурита**

Выполнена студентом гр.216 **М.А. Ждановым**

Научный руководитель **В.Б. Волошинов**

Москва - 2009

## Оглавление

1. Введение.....	3
2. Физические принципы акустооптических фильтров.....	4
3. Акустооптический фильтр на основе кристалла парателлурита .....	9
4. Спектрально-поляризационный анализ изображений.....	10
5. Вывод.....	13
6. Список литературы.....	14

## **1. Введение**

Как известно, спектральный анализ изображений чрезвычайно полезен и применяется в различных областях науки, таких как физика, химия, медицина, а также в науках, занимающихся атмосферой, почвой и океанами. Акустооптический метод обработки изображений, основанный на дифракции Брэгга в анизотропных неколлинеарных кристаллах, например в парателлурите ( $\text{TeO}_2$ ), позволяет создавать приборы с легко перестраиваемой дифракционной решеткой, что в свою очередь дает возможность быстро получать различные части спектра изображения исследуемого предмета, которые дают информацию о веществах, его образующих [1-10]. Дело в том, что в спектральных приборах с обычными дифракционными решетками отсутствует возможность плавно и быстро менять параметры решетки, это значительно снижает эффективность таких приборов, так как для исследования хотя бы нескольких спектральных линий необходимо иметь комплект разных решеток или механически менять параметры исходной решетки, а это не всегда возможно для получения необходимой точности изображения. В акустооптических приборах, напротив, отсутствуют подвижные механические соединения, а перестроение решетки осуществляется изменением частоты генератора звуковых волн в кристалле [1-3].

В этой работе будут рассмотрены физические принципы работы акустооптических фильтров на кристалле парателлурита, представлена схема установки, позволяющей осуществлять спектральную обработку изображений, а также будут приведены некоторые примеры такой обработки [4,7-10].

## **2. Физические принципы акустооптических фильтров**

В данной работе рассматривается дифракция в одноосных двулучепреломляющих кристаллах [1-3]. Суть эффекта двулучепреломления заключается в том, что входящая в такой кристалл волна разделяется на две других: обыкновенную и необыкновенную [1-2]. Одной из важных характеристик одноосного кристалла является двулучепреломление:  $\Delta n = n_e - n_o$ , где  $n_e$  – коэффициент преломления для необыкновенной волны, а  $n_o$  – коэффициент преломления для обыкновенной волны. Важно заметить, что обыкновенные и необыкновенные волны имеют ортогональное направление поляризации, максимум которой достигается при распространении входящей в кристалл волны вдоль оси  $X$ , тогда их плоскости поляризации становятся взаимно ортогональны. На Рис.1.1 показаны поверхности волновых векторов для этих двух типов волн. Как мы видим, модуль волнового вектора обыкновенной волны постоянен и равен  $k_o = 2\pi n_o / \lambda$ , где  $\lambda$  - длина световой волны. Пространство векторов  $k_o$  образует шар с радиусом  $2\pi n_o / \lambda$  [1-3]. В свою очередь, коэффициент преломления необыкновенной волны  $n_i$  зависит от угла падения исходной волны и в случае положительного двулучепреломляющего кристалла изменяется в пределах  $n_o \leq n_i \leq n_e$ , принимая максимальное значение вдоль оси  $X$ . Пространство волновых векторов необыкновенных волн представляет собой эллипсоид вращения, касающийся пространства векторов  $k_o$  в двух точках, лежащих на оси  $Z$ . Ось  $Z$  называется оптической осью двулучепреломляющего кристалла, и, как мы видим, если входящая волна направлена вдоль этой оси, то волновые векторы обыкновенной и необыкновенной волн совпадают [1-3]. Зависимость  $n_i$  от угла падения  $\theta$  выражается формулой [1,2]:

$$n_i = n_o n_e / [n_o^2 \sin^2(\theta + \alpha) + n_e^2 \cos^2(\theta + \alpha)] \quad (1)$$

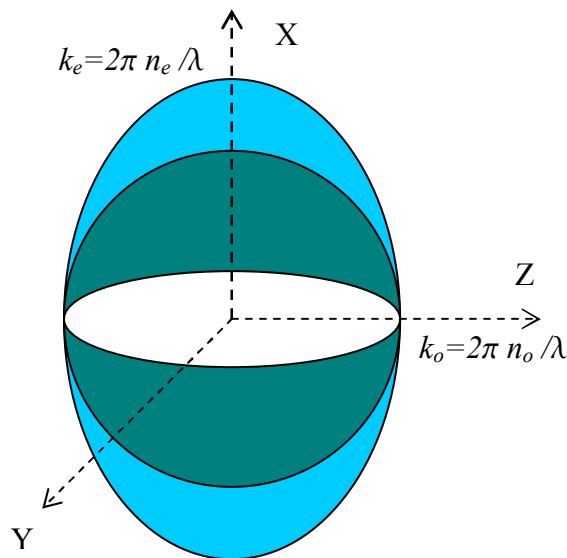


Рис.1.1

Рассмотрим теперь механизм акустооптической дифракции Брэгга. В недеформированном кристалле плотность вещества по всему объему постоянна, а это значит, что показатель преломления одинаков для каждой части кристалла. Если возбудить в кристалле звуковую волну, она вызовет периодические деформации сжатия-растяжения, в кристалле появятся области с разной оптической плотностью, схематически показанные на Рис. 1.2. На этом рисунке  $K=2\pi f/V$  – волновой вектор звуковой волны, где  $f$  – частота звука,  $V$  – скорость звука в кристалле.

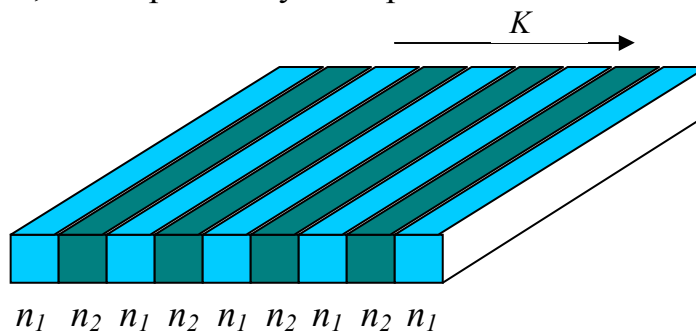


Рис.1.2

Таким образом, мы получаем структуру, являющуюся дифракционной решеткой, так как в более плотных областях свет идет медленнее, чем в менее плотных. В итоге, мы получаем оптическую

разность хода, а как следствие, дифракцию. Можно заметить, что звуковые волны возбуждаются пьезопреобразователями, которые соединены с генератором электрических колебаний. Дифракция Брэгга имеет место, когда длина области взаимодействия настолько большая, что остается только первый или минус первый порядок дифракции, а остальные порядки уничтожаются из-за многократных отражений и преломлений во всем объеме решетки [1,2]. Основным свойством дифракции Брэгга, позволяющим на ее основе фильтровать изображения, является то, что в дифракционный порядок Брэгга может отклониться волна только с определенной длиной [1-4]. Имеет место условие синхронизма, связывающее волновые векторы входящей, преломленной и звуковой волны [1-3]:  $\mathbf{k}_i \pm \mathbf{K} = \mathbf{k}_d$  где  $\mathbf{k}_d$  – волновой вектор дифрагированной волны,  $\mathbf{k}_i$  – волновой вектор входящей волны, а  $\mathbf{K}$  – волновой вектор звуковой волны в  $k$  кристалле. Если волны не удовлетворяют этому условию, то дифракция Брэгга не наблюдается. Наглядно это условие можно наблюдать на векторной диаграмме Рис.1.3.

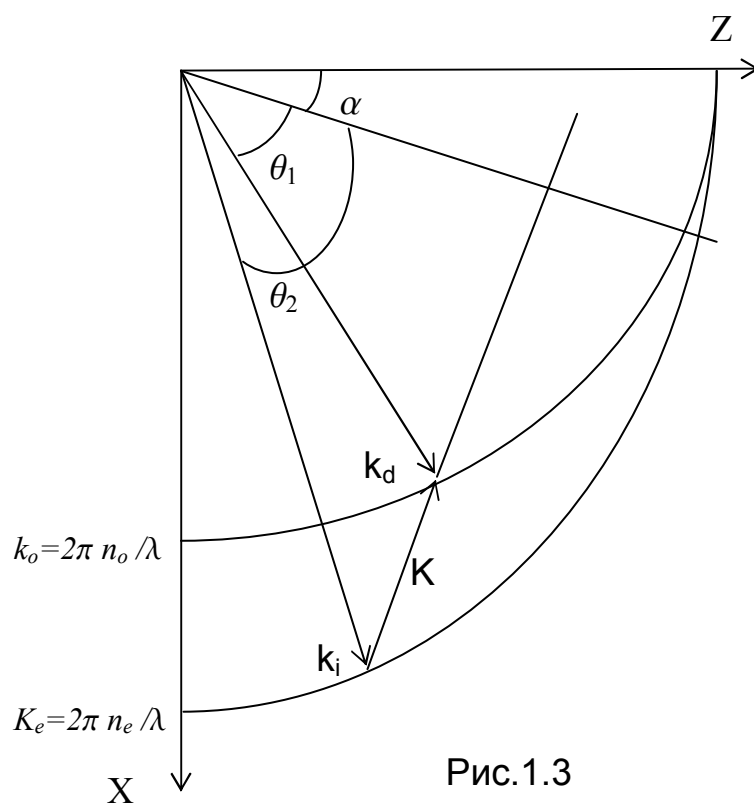


Рис.1.3

В случае изотропной среды связь угла Брэгга с частотой звуковых волн выражается уравнением, следующим из условия синхронизма [1]

$$\text{Sin}(\theta_{\text{Бр}}) = \lambda f / 2nV. \quad (2)$$

В двулучепреломляющих кристаллах, с двумя разными коэффициентами преломления, связь между углом Брэгга и частотой звука выражается формулой [1]:

$$f = V(n_i \sin\theta - [n_o^2 - n_i^2 \cos^2\theta]^{1/2}) / \lambda, \quad (3)$$

где  $n_i$  выражается по формуле (1). Следует отметить, что угол  $\alpha$ , входящий в это уравнение (1), называется углом среза кристалла и представляет собой угол между волновым вектором звука  $\mathbf{K}$  и осью  $X$  (Рис.1.3) [4-10]. При построении зависимостей угла Брэгга от частоты (Рис.1.4) угол  $\alpha$  берется в качестве параметра.

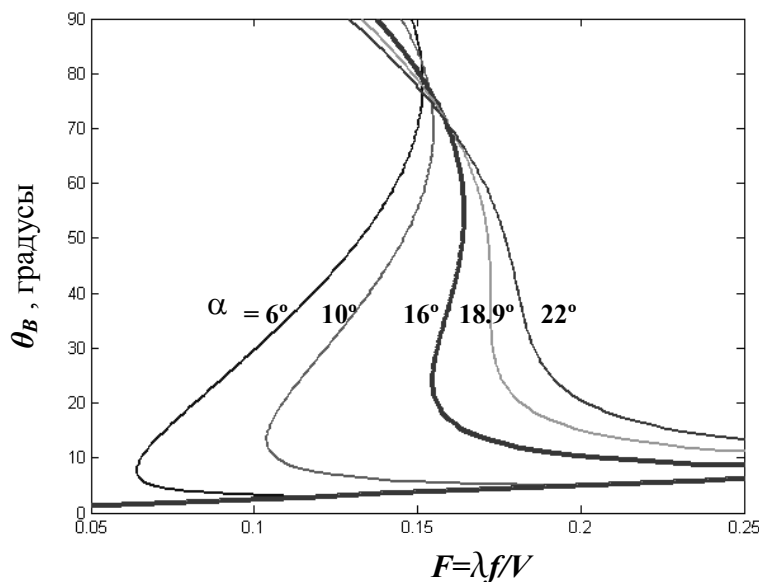


Рис.1.4

Интерес представляют такие зависимости, в которых присутствует значительный вертикальный участок, так как при

обращении в нуль производной  $df/d\theta_{Бр}$  дифракция становится нечувствительной к изменениям угла падения света [1-3]. Если достигается максимальное значение пространственного разделения падающего и дифрагированного пучков  $\Delta\theta$ , то это позволяет добиться хорошего качества фильтрации оптического сигнала [4,8,9]. Для парателлурита такой вид зависимости  $f$  от  $\theta_{Бр}$  достигается при углах  $\alpha$ , изменяющихся в пределах от  $0^\circ$  до  $19^\circ$ , в остальных же случаях производная  $df/d\theta_{Бр}$  в ноль не обращается. В фильтрах на кристалле парателлурита акустические волны распространяются вдоль направления [110], то есть под углом  $45^\circ$  к оси X.

Известно, что максимальное разделение падающего и дифрагированного света наблюдается при угле среза  $19^\circ$  [8,9], поэтому акустооптический фильтр на основе этой геометрии взаимодействия наиболее перспективен для использования в устройствах обработки изображения [4-10]. Кроме того, при углах среза, близких к  $19^\circ$ , можно работать с произвольно поляризованным излучением [4]. В данном режиме дифракции обыкновенно поляризованные компоненты падающего светового пучка отклоняются в минус первый порядок дифракции. Необыкновенно поляризованный свет при этом одновременно отклоняется в плюс первый дифракционный порядок [4]. Таким образом, в дифрагированных световых максимумах заключен свет в узком диапазоне длин волн  $\Delta\lambda$ , при этом анализ поляризации отфильтрованного света осуществляется при сравнении интенсивностей световых лучей в дифракционных порядках.



### 3. Акустооптический фильтр на основе кристалла парателлурита

Описанные выше физические явления и эффекты позволяют создать на основе кристалла  $\text{TeO}_2$  широкоапертурный, перестраиваемый фильтр, с помощью которого возможна спектральная обработка изображений. Ниже будет рассмотрена схема такого устройства, но перед этим целесообразно более подробно познакомиться с геометрией акустооптической ячейки, представленной на Рис.1.5.

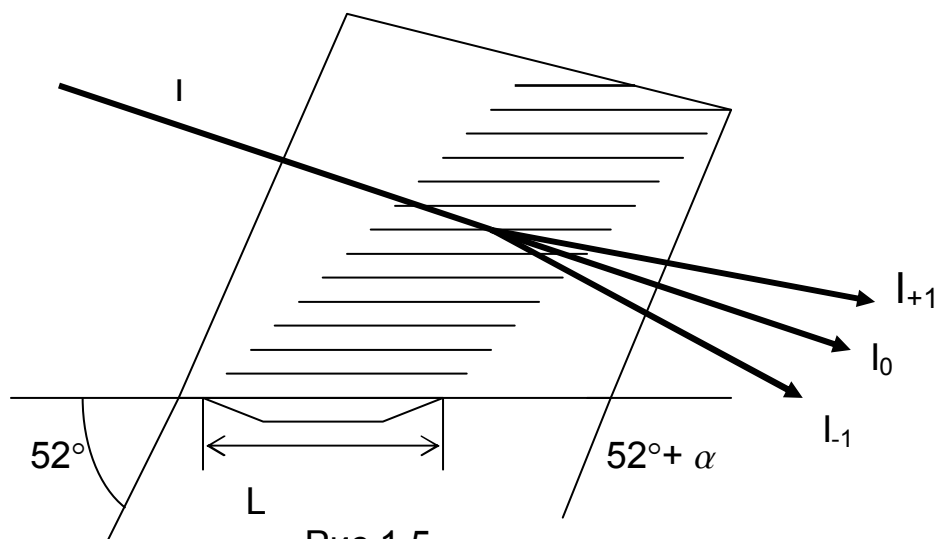


Рис.1.5

На рисунке видна форма кристалла парателлурита в ячейке, ход основных и дифрагированных лучей, а также положение пьезоэлемента, длина которого может достигать нескольких сантиметров. Теперь обратимся к простейшей схеме устройства (Рис.1.6), предназначенного для обработки изображений. Свет от исследуемого образца 1 попадает на фокусирующую линзу 2, и с помощью диафрагмы 3 из прошедшего через линзу света удаляются лучи вне угловой апертурой фильтра. Сфокусированный свет попадает на акустооптическую ячейку 4. В кристалле медленная сдвиговая акустическая волна распространяется под углом  $\alpha=19^\circ$  к направлению  $[110]$ .

#### 4.Спектрально-поляризационный анализ изображения

Из Рис.1.6 следует, что из акустооптической ячейки выходят три расходящихся световых пучка, соответствующие прошедшей волне нулевого порядка и дифрагированным волнам порядков +1 и -1 [4,11]. Распространение прошедшей волны нулевого порядка перекрывается непрозрачным экраном 6 для снижения фоновой засветки. В свою очередь, дифрагированные волны попадают на регистрирующие матрицы приемников 5 и 7.

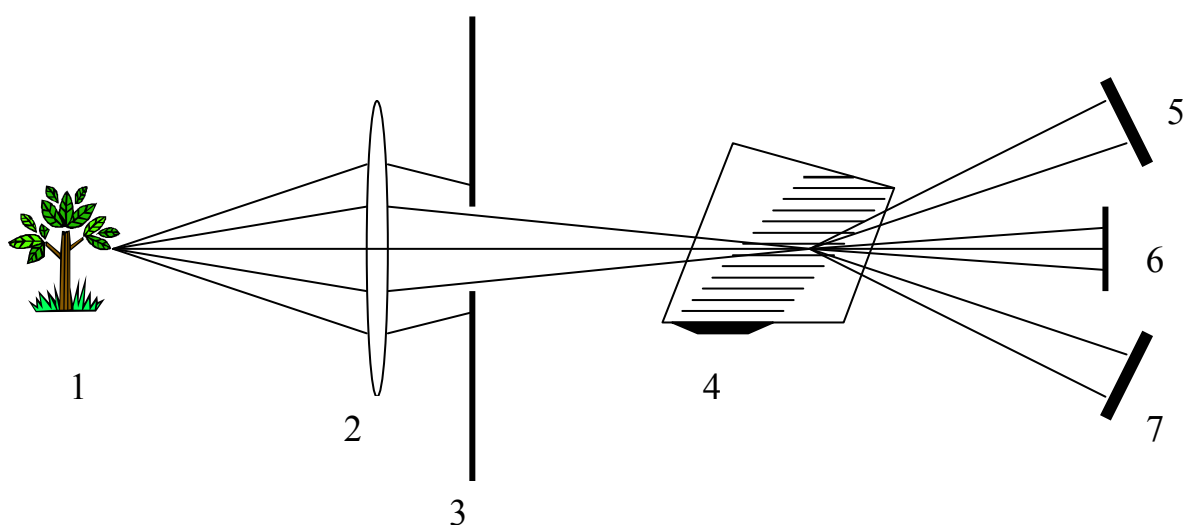
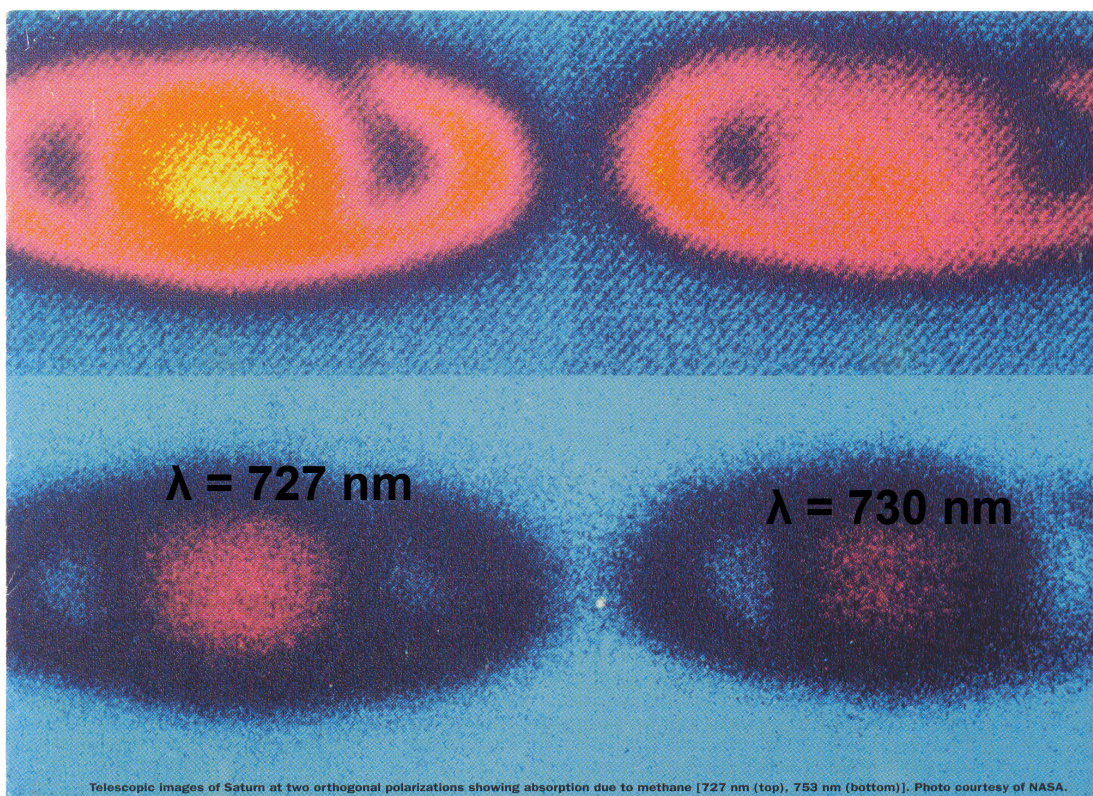


Рис.1.6

Как было отмечено ранее, сравнение интенсивности изображений, полученных в +1 и -1 порядках дифракции, дает возможность получить информацию и о поляризационных свойствах предмета исследования [4,11]. Спектральное разрешение фильтра зависит от угла среза  $\alpha$  и длины преобразователя  $L$ . В исследуемом фильтре  $\alpha=19^\circ$ ,  $L=1.6$  см., при этом  $\Delta\lambda=2$  А при  $\lambda=633$  нм.

Теперь рассмотрим некоторые примеры обработки изображения с помощью акустооптического перестраиваемого фильтра. На Рис. 1.7 мы видим спектральный анализ изображения Сатурна на длинах волн 727, 730, 753, 760 ангстрем соответственно

[11]. Лучше всего кольца Сатурна видны на длине волны 727 ангстрем при отсутствии поглощения метана. Наоборот, при  $\lambda=753$  нм и  $\lambda=760$  нм кольца не видны из-за поглощения света. Известно, что на этих длинах волн поглощается излучение в метане. Отсюда можно сделать вывод о химическом составе этих колец, включающих в себя пары метана.



$\lambda = 753 \text{ nm}$

$\lambda = 760 \text{ nm}$

Рис. 1.7

Как было отмечено выше выше, с помощью акустооптических фильтров можно определять различные поляризационные свойства излучения, распространяющегося от исследуемых образцов, полученных с помощью перестраиваемого акустооптического фильтра на кристалле парателлурита.

На Рис.1.8 мы видим исходное изображение (а), изображение, полученное в плюс первом порядке дифракции Брэгга

(b), и изображение, полученное в минус первом порядке дифракции Брэгга (c).

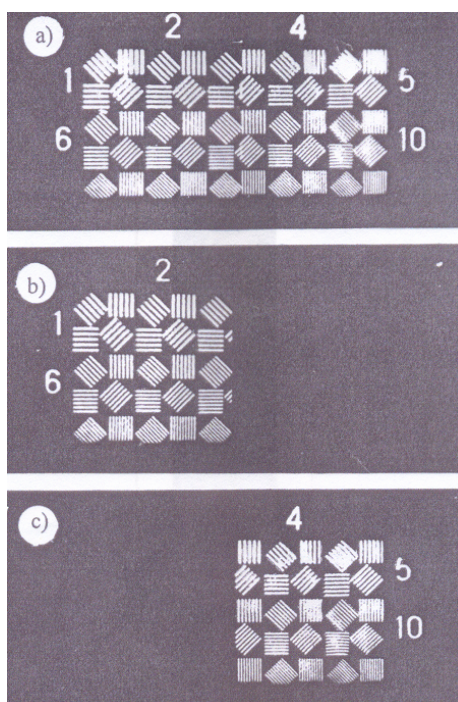


Рис.1.8

## **5. Выводы**

Рассмотрев физические принципы функционирования, схему устройства перестраиваемого акустооптического фильтра и иллюстрирующие его работу примеры, можно убедиться, что такие приборы могут быть чрезвычайно полезными при спектральном и поляризационном анализе изображений в различных областях науки и техники. В наши дни приборы, созданные на основе акустооптической дифракции Брэгга, успешно применяются при обработке изображений, полученных при аэрокосмических исследованиях в видимом, ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах длин волн электромагнитного спектра. Рассматривается применение таких фильтров в медицине в качестве средства диагностики различных видов заболеваний, в биологии, экологии, почвоведении и других разделах науки и техники. Оказалось, что акустооптические фильтры могут быть полезны при решении задачах военной и специальной техники, например, по обнаружению замаскированных объектов противника.

## **6.Список литературы**

- [1] Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. – М.: Радио и связь, 1985.
- [2] Xu J. and Strong R. Acousto-Otic Devices.- NY: Wiley, 1992.
- [3] Chang I. C.// Appl.Phys.Lett. 1974. V. 25. No. 7. P. 370.
- [4] Voloshinov V.B., Molchanov V. Ya., and Mosquera, J.C.// Opt. And Laser Tech. 1996. V. 28. No. 2.P.119.
- [5] Gupta N., Denes, L., Gottlieb, M., et al.// Appl. Opt. 2001. V. 40. No. 36, P. 6626.
- [6] Voloshinov V.B., Molchanov V. Ya.// Opt. And Laser Tech. 1995. V. 27. No. 5.P. 307.
- [7] Gupta N., Voloshinov V.B.// Appl. Opt. 2007. V. 46. No. 7, P. 1081
- [8] Voloshinov V.B., Linde B., and Yushkov K. B. // J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 2007. V. 9. No. 4 p. 341.
- [9] Волошинов В. Б., Москера Х. С. // Опт. Спектр. 2006. Т. 101. № 4. С. 675.
- [10] Anchutkin V.S. // Proc. SPIE , 2008. V. 71. pp. 7100.
- [11] Neelam Gupta// Opt. And Photonics News, V 11, pp 23-27. 1997.