

- [1] S. L. McCall, E. L. Han. Phys. Rev., 457, 1969.  
 [2] И. А. Полуэктов, Ю. М. Попов, В. С. Ройберг. Усп. физ. наук, 114, 97, 1974.  
 [3] Л. А. Большаков, А. П. Напартович. ЖЭТФ, 68, 1763, 1975.  
 [4] В. П. Кудря, Т. М. Махвиладзе, И. Г. Синицын, Л. А. Шелепин. Тр. ФИАН, 87, 38, 1976.  
 [5] Д. И. Груев. Квантовая электроника, 2, 2487, 1975.  
 [6] C. K. Rhodes, A. Szöke, A. Javan. Phys. Rev. Lett., 21, 1151, 1968.  
 [7] В. М. Акулин, С. С. Алимпов, Н. В. Карлов, Л. А. Шелепин. ЖЭТФ, 69, 863, 1975.  
 [8] Н. В. Карлов, А. М. Прохоров. Усп. физ. наук, 118, 583, 1976.  
 [9] В. М. Акулин, С. С. Алимпов, Н. В. Карлов, Л. А. Шелепин. Тр. ФИАН, 87, 141, 1976.

Поступило в Редакцию 3 мая 1976 г.

УДК 535.65

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦВЕТНОГО КОНТРАСТА

А. Б. Бухман

В последнее время заметно возрастает научное и прикладное значение методов формирования, обработки и представления различной информации с применением цветных и псевдоцветных (квазицветных) изображений [1-4]. Оптимизация систем, реализующих эти методы, требует учета закономерностей зрительного восприятия [5-7]. Эффективность практического использования содержащейся в цветных изображениях информации в значительной степени зависит от возможностей их количественного анализа.

Современные методы анализа цвета основаны на фотометрических принципах измерений оптических излучений (стимулов) с помощью трех спектральных приборов  $a_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) и устройств, формирующих координатный базис  $X_i$  трехмерного цветового пространства сигналов.

Взаимные сравнения различных стимулов производятся колориметрическими методами, математическим следствием которых является афинность цветового многообразия. Эти методы позволяют устанавливать равенства сравниваемых излучений, но не пригодны для метрологических измерений цветовых неравенств, так как не дают возможность количественно оценивать цветовые различия.

Поиски методов определения метрики цвета в настоящее время связаны с построением равноконтрастного цветового пространства (РЦП) [8, 9]. Задачу построения РЦП сводят к установлению функциональной связи между исходными координатами стимулов  $X_1$  и  $X_2$  (один из которых рассматривают в качестве фона) и координатами РЦП, в которых различие между стимулом и фоном определяется сложным цветным контрастом, состоящим из контраста по яркости и по цветности. Контраст по цветности выражают либо в ортогональных координатах, характеризующих восприятие сине-желтых и красно-зеленых цветов, либо в полярных координатах, в которых модуль вектора соответствует насыщенности, а его аргумент — цветовой тональности. Эти понятия относятся к области физиологической оптики и определяют координаты цветности в пространстве ощущений цвета [7, 8].

Созданию РЦП придается большое практическое значение [8, 9], однако, несмотря на многочисленные теоретические и экспериментальные работы, проблема его построения не решена.

В настоящем сообщении рассмотрен новый метод математического определения цветового контраста на базе теории представлений групп [10], как основы для построения РЦП.

В общем случае цветовое многообразие неэвклидово [9], но характеризуется тем, что у каждой его точки существует окрестность, которая эквивалентна (гомеоморфна) области трехмерного евклидова пространства. Такое многообразие является топологическим пространством со счетной базой — трехмерным топологическим многообразием  $R_3$ . Каждой точке данного многообразия соответствует касательный вектор (инфинитезимальный оператор)  $A_i$ , задающий касательное векторное поле, в котором, кроме обычных операций линейного пространства — сложения и умножения на число, имеет место еще операция коммутирования. Различие между точками такого многообразия устанавливается путем взаимнонепрерывных сдвигов  $g$  из соответствующей группы движений  $G$  топологического пространства. Группа движений в  $R_3$  неоднородна и может быть разложена на прямое произведение транзитивных групп: группы сдвигов на числовой оси, с которой отождествляются изменения модуля вектора, и группы вращений  $SO(3)$  единичной сферы, характеризующей изменение направленного вектора.

Без ограничения общности в базисе  $X_i$  стимул может быть задан ортонормированными координатами

$$x_i = \frac{X_i}{L}, \quad L = \left( \sum_{i=1}^3 X_i^2 \right)^{1/2}, \quad (1)$$

целесообразность использования которых при моделировании цветовосприятия обоснована в работах [7, 11].

Так как между группой вращений  $SO(3)$  и группой унитарных унимодулярных матриц  $SU(2)$  существует локальный изоморфизм [10], используя полярное разложение, каждый вектор пространства  $R_3$  можно представить в виде

$$X = LU, \quad U = \begin{pmatrix} x_3 & x_1 + jx_2 \\ x_1 - jx_2 & -x_3 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

В таком представлении различие между модулями векторов  $X_1$  и  $X_2$  характеризует яркостный контраст, который на основании [5, 11] выразим соотношением

$$K = \frac{L_1 - L_2}{L_1 + L_2}. \quad (3)$$

Для определения контраста по цветности рассмотрим известное равенство

$$U_2 = U_0 U_1 U_0^{-1}, \quad (4)$$

в котором матрица  $U_0 \subset SU(2)$  является оператором спинорного (кватернионного) представления вращений в трехмерном пространстве. Можно показать, что структура такого оператора представима в виде суммы скалярной ( $\alpha$ ) и векторной ( $\alpha^{-1}\sigma$ ) компонент

$$U_0 = \alpha J + j\alpha^{-1}\sigma, \quad (5)$$

где

$$\alpha = \left( \frac{1 + \rho}{2} \right)^{1/2}, \quad \rho = \sum_{i=1}^3 x_{1i}x_{2i}, \quad \sigma = \sum_{i=1}^3 \mu_i A_i,$$

$$\mu_1 = (x_{12}x_{23} - x_{22}x_{13}), \quad \mu_2 = (x_{11}x_{23} - x_{21}x_{13}),$$

$$\mu_3 = (x_{11}x_{22} - x_{21}x_{12}),$$

$$J = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad A_1 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix},$$

$$A_2 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad A_3 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & -j \\ j & 0 \end{pmatrix}.$$

Вектор  $\sigma$  является элементом нормальной (коммутаторной) подгруппы группы  $SO(3)$ , которая изоморфна абелевой подгруппе двумерных вращений  $SO(2)$ . В подгруппе  $SO(2)$  вектор  $\sigma$  может быть выражен в ортогональных ( $\eta, \xi$ ) или полярных ( $\rho, \varphi$ ) координатах

$$\sigma = \eta + j\xi = \sigma \exp(j\varphi), \quad (6)$$

$$\eta = (x_{12}x_{21} - x_{11}x_{22}) (1 - x_{13}^2)^{-1/2},$$

$$\xi = (x_{13}\rho - x_{23}) (1 - x_{13}^2)^{-1/2},$$

$$\sigma = (1 - \rho^2)^{1/2}, \quad \varphi = \arctg \frac{x_{13}\rho - x_{22}}{x_{12}x_{21} - x_{11}x_{12}},$$

что обеспечивает возможность анализа цветных контрастов в рамках современной спектральной теории сигналов [12], основанной на использовании систем базисных функций, составляющих абелеву группу.

Определим соответствие между полученными (6) координатами и понятиями цветности пространства ощущений:  $\sigma \rightarrow$  насыщенность,  $\varphi \rightarrow$  цветовая тональность,  $\eta \rightarrow$  красно-зеленые цвета,  $\xi \rightarrow$  сине-желтые цвета.

Выражениями (1), (3), (6) устанавливается функциональная зависимость цветного контраста от фотометрических параметров стимула и фона.

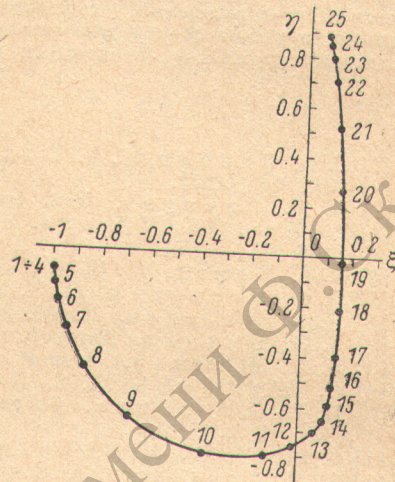


График цветностей спектральных излучений

№ точки	$\lambda$ , нм	№ точки	$\lambda$ , нм
1	390	14	520
2	400	15	530
3	410	16	540
4	420	17	550
5	430	18	560
6	440	19	570
7	450	20	580
8	460	21	590
9	470	22	600
10	480	23	610
11	490	24	620
12	500	25	630
13	510		

В качестве примера на рисунке приведен график цветностей спектральных излучений, построенный по изложенному методу при параметрах фона, соответствующих стандартному источнику излучения «Е» и параметрах стимула  $X_i$ , определенных через стандартные координаты МОК (1931)  $X, Y, Z$ , следующей зависимостью:

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.4142 & -0.6772 & -0.2457 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0.2404 & 0.4808 & -0.2404 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Предложенный метод создает основу нового подхода при построении РЦП, при анализе многочисленных явлений и закономерностей цветопередачи, согласовании понятий и определений, относящихся к областям физической и физиологической оптики, а также основу для синтеза различных технических средств обработки и измерения цветных (псевдоцветных) изображений.

#### Литература

- [1] Г. В. Сливак, Г. В. Сапарин, М. К. Антошин. Усп. физ. наук, 113, 695, 1974.
- [2] А. Л. Суворов. Усп. физ. наук, 117, 685, 1975.
- [3] Т. Ито. Тр. IV Междун. объедин. конф. по искусственному интеллекту, 8, 136. М., 1975.
- [4] В. Г. Комар, Ю. Н. Овечкис. Техника кино и телевидения, 9, 18, 1976.
- [5] В. Ф. Нестерук, Н. Н. Порфирьева. Опт. и спектр., 21, 487, 1966.
- [6] Д. С. Лебедев. Вестн. АН СССР, 6, 91, 1976.
- [7] А. Б. Бухман. Автореф. канд. дисс., МЭИ, 1971.
- [8] В. В. Мешков. Основы светотехники, 2 ч., М.—Л., 1961.
- [9] G. Wyszecski, W. S. Stiles. Color Science, New York, 1967.
- [10] Н. Я. Виленкин. Специальные функции и теория представлений групп. М., 1965.
- [11] S. L. Guth, H. R. Lodge. J. Opt. Soc. Am., 63, 450, 1973.
- [12] А. М. Трахтман. Введение в обобщенную спектральную теорию сигналов, М., 1972.

Поступило в Редакцию 25 мая 1976 г.

УДК 535.34-15 : 548.0

### ВНУТРЕННЕЕ ВРАЩЕНИЕ ГРУППЫ $\text{CH}_3$ И ШИРИНА ПОЛОС В ИК СПЕКТРАХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ $(\text{CH}_3)_2\text{SnXY}$

А. Б. Ремизов, Н. Н. Вахрушева, И. С. Поминов и И. Я. Курамшин

В [1] исследовалась ширина полос перпендикулярных колебаний группы  $\text{CH}_3$  в ИК спектрах кристаллического  $\text{CH}_3\text{SnCl}_3$ , и по температурной зависимости ширины полос  $\delta$  определялась величина барьера внутреннего вращения группы  $\text{CH}_3$ . Настоящая работа посвящена изучению формы полос и температурной зависимости  $\delta$  в ИК спектрах кристаллических диметилдигалогидстаннанов  $(\text{CH}_3)_2\text{SnXY}$ -соединений, в которых два легких волчка (группы  $\text{CH}_3$ ) присоединены к тяжелому остову (группа  $\text{SnXY}$ ). Спектры снимались на спектрометре UR-20, спектральная ширина щели составляла  $\sim 2.5 \text{ см}^{-1}$ . Температурные исследования проводились в кристате, охлаждаемом жидким азотом. Температура измерялась термопарой медь-константан, точность определения и поддержания температуры  $\pm 3^\circ$ . Исследовались кристаллические пленки  $(\text{CH}_3)_2\text{SnCl}_2$  ( $t_{\text{пл.}} = 107^\circ \text{ C}$ ),  $(\text{CH}_3)_2\text{SnBr}_2$  ( $t_{\text{пл.}} = 74^\circ \text{ C}$ ) и  $(\text{CH}_3)_2\text{SnClBr}$  ( $t_{\text{пл.}} = 83^\circ \text{ C}$ ), приготовленные охлаждением жидкой пленки вещества между пластинками из KBr. В скрещенных поляроидах наблюдались большие зоны одинаковых углов погасания, в пределах которых можно, по-видимому, говорить о монокристаллическости образца. При съемке спектров образцы устанавливались таким образом, чтобы луч спектрометра проходил через зону одинакового угла погасания. Спектры снимались как в естественном, так и в поляризованном свете, для чего применялся поляризатор ГОИ [2]. Величины  $\delta$  определялись по полосам, построенным в координатах оптической плотности,  $-\nu$  ( $\text{см}^{-1}$ ).

Интерпретация спектров  $(\text{CH}_3)_2\text{SnCl}_2$  дана в [3], спектры  $(\text{CH}_3)_2\text{SnBr}_2$  и  $(\text{CH}_3)_2\text{SnClBr}$  интерпретированы нами аналогично. Следует отметить, что использование поляризованного света позволило выделить в спектрах исследованных соединений (в области  $800 \text{ см}^{-1}$ ) по три полосы, принадлежащие колебаниям типов симметрии  $A_1, B_1, B_2$ :