

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА  
СЕРИЯСЫ**



**СЕРИЯ**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ**



**PHYSICO-MATHEMATICAL  
SERIES**

**1 (299)**

**ҚАҢТАР – АҚПАН 2015 ж.  
ЯНВАРЬ – ФЕВРАЛЬ 2015 г.  
JANUARY – FEBRUARY 2015**

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА  
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ  
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД  
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА  
АЛМАТЫ, НАН РК  
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,

**Мұтанов Г. М.**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчеков Ж.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Жұмаділдаев А.С.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұқашев Б.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жантаев Ж.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к ең е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

**Г. М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.А. Ашимов**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Ж.Ж. Байгунчеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Джумадильдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Б.Н. Мукашев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.Ш. Жантаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. Темирбеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.У. Умирбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

**G. M. Mutanov**,  
academician of NAS RK

Editorial board:

**A.A. Ashimov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **Zh.Zh. Baigunchekov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.S. Dzhumadildayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **T.S. Kalmenov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **B.N. Mukhashev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.Sh. Zhantayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Kosov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.A. Mussabayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **R. Oinarov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

**I.N. Vishnievski**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.**  
**ISSN 1991-346X**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 299 (2015), 60 – 63

**CALCULATION OF THE OPTICAL CONSTANTS  
OF THE TETRAGONAL LITHARGE CRYSTALS  
FROM THE ANALYSIS OF TRANSMISSION SPECTRA**

**K. K. Nurakhmetova<sup>1</sup>, T. M. Akbekov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kazakh national technical university after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>KSU named after I. Arabayev, Bishkek, Kyrgyzstan

E-mail: nurakhmetova52@mail.ru

**Key words:** spectrum, plane-parallel, interference, Fabry-Perot, crystal, polarization.

**Abstract.** The subject of this paper is to determine the optical constant spectra of bandwidth PbO<sub>1</sub> in the energy region from 1.5 to 3.0 eV. The measurement was carried out on natural samples polarized light, having the form of right rectangular prisms with mirrored surfaces. For retrieving data from the spectral dependences surveyed the transmission spectra of thin plane-parallel plates with different thicknesses. The study found that the position of the extrema of the interference spectra and their frequency depends on the polarization of light.

УДК.546.815/819:535.37:66-97

**ВЫЧИСЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ КРИСТАЛЛОВ  
ТЕТРАГОНАЛЬНОЙ МОНООКИСИ СВИНЦА  
ИЗ АНАЛИЗА СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ**

**К. К. Нурахметова<sup>1</sup>, Т. М. Акбеков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Кыргызский государственный университет им. И. Арабаева, Бишкек, Кыргызстан,

НИИФ при СБГУ г.Санкт-Петербург

**Ключевые слова:** спектр, плоскопараллельность, интерференция, Фабри-Перо, кристалл, поляризация.

**Аннотация.** Работа посвящена определению оптических постоянных из спектров пропускания PbO<sub>1</sub> в энергетической области от 1,5 эВ до 3,0 эВ. Измерения проводились на естественных образцах поляризованного света, имеющих форму правильных прямоугольных призм с зеркальными поверхностями. Для получения данных со спектральных зависимостей проводилось исследование спектров пропускания тонких плоскопараллельных пластин с различными толщинами. В результате исследования было обнаружено, что положение экстремумов интерференционных спектров и их частота зависит от поляризации света.

Спектральные характеристики оптических констант  $n(h\nu)$  и  $\alpha(h\nu)$  в области малых коэффициентов поглощения  $\alpha < 3,0 \text{ эВ}$  определялись из спектров пропускания плоскопараллельных пластин по методике, описанной в [1]. Для слоистого соединения PbO условия, необходимые для наблюдения таких спектров – плоскопараллельность пластин выполняются идеально. Спектры пропускания состоят из последовательности максимумов и минимумов, спектральное положение которых и соотношение интенсивностей несет информацию не только о величине показателя преломления  $n(h\nu)$ , но и  $\alpha(h\nu)$  величине поглощения. Обычно  $n(h\nu)$  определяется по спектральному положению максимумом  $\lambda_{\max}$  и минимумов  $\lambda_{\min}$  пропускания по формулам:

$$\text{условия максимумов } n(\lambda_{\max}) = \frac{N\lambda_{\max}}{d}; N = 2, 4, 6;$$

$$\text{условия минимумов } n(\lambda_{\min}) = \frac{N\lambda_{\min}}{d}; N = 1, 3, 5;$$

где  $d$  – толщина образца,  $N$  – порядок интерференции.

Для получения данных со спектральных зависимостей проводилось исследование спектров пропускания тонких плоскопараллельных пластин с различными толщинами от 0,2 до 100 мкм. Необходимость использования такого широкого набора толщин образцов была вызвана двумя обстоятельствами. Первое – сильным уменьшением пропускания с ростом энергии, особенно в спектральном интервале 2,8-3,0 эВ. Второе – тем, что интерференционная методика позволяет вычислять только при фиксированных энергиях в экстремумах интерференционной картины. Для получения  $n(\alpha)$  в других точках нужно изменять толщину образца, смещая тем самым интерференцию картины.

В методике расчета с учетом интерференции Фабри-Перо необходимо определить порядок интерференции  $N$ . Проводя измерения в области малых коэффициентов поглощения области прозрачности, можно одновременно определить толщину кристалла  $d$  и порядок интерференции  $N$  только в случае отсутствия на поверхности исследуемого образца чужеродной пленки. Контролировать правильность вычислений можно непосредственно измеряя толщину кристалла или сравнивая вычисленные значения  $n(h\nu)$  с независимо измеренными. Из литературы [2] известно, что  $PbO$  обладает повышенной химической активностью, в результате которой на поверхности могут образовываться различные пленки.

Для того чтобы определить, насколько действительно активна поверхность исследуемых нами кристаллов  $PbO$  и для учета эффектов, связанных с возможным появлением пленок, было проведено исследование интерференционных спектров пропускания в области прозрачности на различных кристаллах, имеющих как естественные поверхности роста, так и на образцах полученные скалыванием. В результате исследований было установлено, что отношение

интенсивностей в максимуме и минимуме  $M = \frac{I_{\max}}{I_{\min}}$  пропускания изменяется от образца к об-

разцу. Максимальное значение  $M$  было получено на кристаллах со свежесколотыми поверхностями. Как показали вычисления, максимальное значение  $M$  соответствует «чистой» поверхности. Наблюдения показали, что это отношение  $M$  не меняется в процессе отдельного эксперимента. При длительном хранении кристаллов в обычной атмосфере резкость интерференционной структуры уменьшалась. Однако спектральное положение экстремумов спектра пропускания не менялось. Таким образом, даже в случае кристаллов с «испорченной» поверхностью, изменяя длины волн максимумов и минимумов интерференционного спектра, можно вычислить  $n(h\nu)$ .

Порядок интерференции и толщину кристалла можно определить, зная зависимость  $n(h\nu)$  только в некотором участии исследуемого интерференционного спектра.

Таким образом, процедура определения  $n(h\nu)$  состояла в последовательной записи частично перекрывающихся интерференционных спектров. Вычислялся по формулам (1) ход изменения  $n(h\nu)$  на кристаллах с «чистой» поверхностью и далее эти значения использовались при дальнейших вычислениях  $n(h\nu)$ . Полученные таким образом зависимости  $n(h\nu)$  в изотропной геометрии  $E \perp C, K \parallel C$  представлены на рисунке 1.

Спектральная зависимость показателя преломления в поляризации света  $E \perp C$   $n(h\nu)$  определялась из спектров пропускания объемных образцов.

Измерения проводилась на естественных образцах, имеющих форму правильных прямоугольных призм с зеркальными поверхностями. В таких кристаллах две боковые грани были перпендикулярны оптической оси, а четыре – содержали оптическую ось. При распространении света

вдоль слоев ( $K \perp C_4$ ) хорошо наблюдалась интерференция Фабри-Перо, хотя и менее резкая по сравнению с геометрией  $K \parallel C_4$ . Было обнаружено, что положение экстремумов интерференционных спектров и их частота зависит от поляризации света. Это указывало на различный ход показателя преломления света в поляризациях  $E \parallel C_4$  и  $E \perp C_4$ . Измеренная в геометрии  $K \perp C_4$  спектральная зависимость  $n(h\nu)$  совпадает с результатами [3] полученными на пластичных кристаллах в геометрии  $K \parallel C_4$ . Это указывает на возможность получения достоверных результатов и для  $n_{\parallel}(h\nu)$ . Спектральные зависимости  $n_{\parallel}(h\nu)$  представлены на рисунке 1.

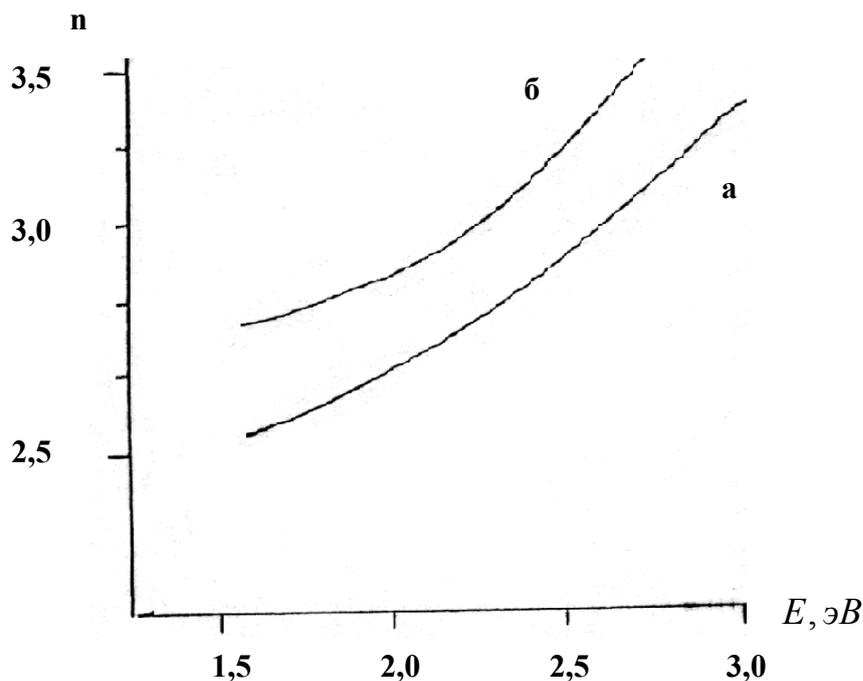


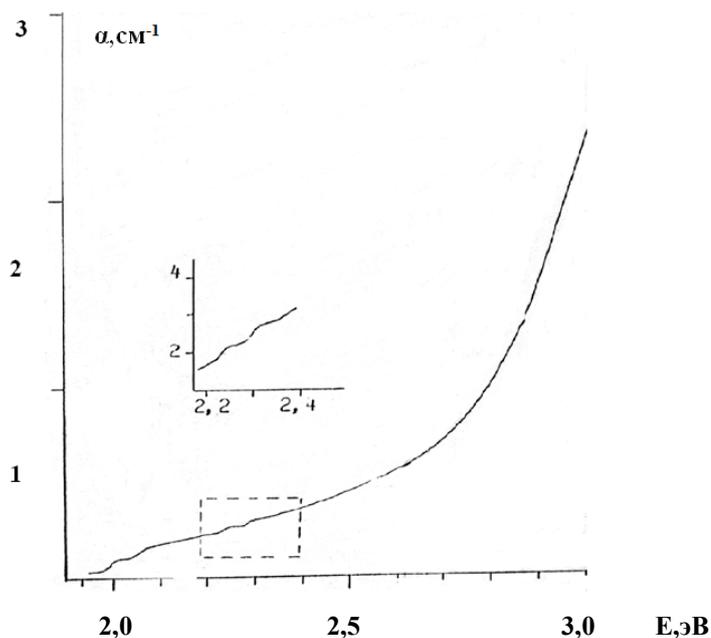
Рисунок 1 – Спектральные зависимости показателя преломления, измеренные при 77К в поляризациях  $E \perp C - n_{\perp}$  (а) и  $E \parallel C - n_{\parallel}$  (б)

Во всем измеренном нами интервале энергий рисунка 1 однако скорость нарастания  $n_{\parallel}$  с увеличением энергии больше чем  $n_{\perp}$ .

Анализируя полученные данные можно заключить, что оптический резонанс, ответственный за появление дисперсии показателя преломления  $n_{\perp}(h\nu)$  имеет большую силу осциллятора и расположен при больших энергиях, чем резонанс, приводящий к появлению дисперсии  $n_{\parallel}(h\nu)$ .

При уменьшении температуры спектральные  $n_{\parallel}, n_{\perp}$  кривые, не изменяя своей структуры, смещаются в область больших энергий. Спектральная зависимость коэффициента поглощения  $\alpha$  определялась только при  $E \perp C, K \parallel C$ , так как для проведения надежных измерений требовались кристаллы с высоким качеством отражающих поверхностей. Результаты вычислений представлены на рисунке 2.

В области энергий 2,24-2,34 эВ наблюдаются две слабые размытые ступеньки, за которыми следует участок линейного роста. В основных чертах это поглощение повторяет структуры в области 1,9-2,3 эВ и также, вероятно, связано с непрямыми переходами, не с более глубокими зонами. С ростом температуры спектр расширяется и смещается в область больших энергий, аналогично температурному смещению длинноволнового края.



**Рисунок 2** – Спектральные зависимости коэффициента поглощения  $\alpha$ ,  $\text{см}^{-1}$ , при 77К в поляризации  $E \perp C$

Анализируя ход изменения оптических констант  $n(h\nu)$  и  $\alpha(h\nu)$ , вычисленных из спектров пропускания и отражения [3], можно сделать вывод, что прямые разрешенные зона-зонные переходы начинаются при энергиях  $h\nu > 3,06\text{эВ}$  в поляризации  $E \perp C$  и  $h\nu > 3\text{эВ}$  в поляризации  $E \parallel C$ . Об этом свидетельствует резкое нарастание поглощения и его большая величина, достигающая в максимуме.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников. – 1977. – С. 56-70.  
 [2] Извозчиков В.А., Тимофеева О.А. Фотопроводящие окислы свинца в электронике. – Л., 1979. – С. 140-142.  
 [3] Акбеков Т.М., Гайсин В.А., Недзвецкий Д.С. Оптические константы тетрагональной окиси свинца в области 800-250 нм // Вестник ЛГУ. – 1991. – Сер. 4, вып. 3.

#### REFERENCES

- [1] Uhanov Ju.I. Optical properties of semiconductors, 1977, p. 56-70 (in Russ.).  
 [2] Izvozchikov V.A., Timofeeva O.A. Photoconductive lead oxides in electronics. L.: 1979, p. 140-142 (in Russ.).  
 [3] Akbekov T.M., Gajsin V.A., Nedzveckij D.S. Optical constants of Tetragonal lead oxide in 800-250 nm. Vestnik LGU. Ser. 4, № 3, 1991 (in Russ.).

### ҚОРҒАСЫН ТЕТРАГОНАЛЬДЫ МОНОТОТҚЫСЫНЫҢ ОПТИКАЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛАРЫН ӨТКІЗУ СПЕКТРЛЕРІН ТАЛДАУ АРҚЫЛЫ ЕСЕПТЕУ

К. К. Нұрахметова<sup>1</sup>, Т. М. Ақбеков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>И. Арабаев атындағы Қырғыз мемлекеттік университеті, Бішкек, Қырғызстан

**Тірек сөздер:** спектр, жалпақпараллельділік, интерференция, Фабри-Перо, кристалл, поляризация.

**Аннотация.** Атылмыш жұмыс 1,5 эВ пен 3,0 эВ энергетикалық аудан аралығындағы РвОТ өткізу спектрлерінен оптикалық тұрақтыларды анықтауға арналған. Өлшеулер айналы беттері бар дұрыс тік төртбұрышты призмалардың формасындай болатын поляризацияланған жарықтың табиғи үлгілерінде өткізілген. Спектрлік тәуелділіктерден деректер алу үшін жуандықтары әр түрлі жіңішке жазық параллел пластиналардың өткізу спектрлерінің зерттелуі жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде интерференционды спектрлер экстремумдарының орындары мен олардың жиілігі жарықтың поляризациясына байланысты екені анықталды.

Поступила 27.01.2015 г.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

[physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

Редактор *М. С. Ахметова*

Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 10.02.2015.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

4,7 п.л. Тираж 300. Заказ 1.