

Умбетов А.У.

**Исланд шпатынан жасалынған
биполяризатор**

Электромагнитті толқындардың заттармен әсерлесу теориясы іргелі зерттеулердегі теориялық және тәжірибелік жағынан маңызды мәселелердің бірі. Әртүрлі бағыттар бойынша ерекшеленетін оптикалық жүйелердегі электромагнитті толқындардың таралуы және маңызды құбылыстар береді. Бір осьті кристалдарды әртүрлі үлгіде қарастыра отырып, квантты электроникаға қажетті элементтер аламыз. Солардың бірі биполяризатор (БП). Мақалада биполяризатордың құрылысы және одан электромагнитті толқындардың таралуы, өткен сәулелердің ерекшеліктері және интерференция құбылысының алыну тәртібі қарастырылады. Осындай жүйелерді лазер сәулесінде қолдана отырып, денелердің кеңістіктегі орнын, аз ығысу шамасы мен бұрылу бұрышын өте үлкен дәлдікпен анықтай аламыз. Сонымен бірге кристалды оптикалық жүйелердің негізінде әртүрлі мақсатта қолданылатын лазерлік поляризациялық интерферометрлер құрастыруға мүмкіндіктер туады.

Түйін сөздер: электромагнитті толқындар, бір осьті кристалдар, квантты электроника, биполяризатор, интерференция, лазер, поляризация, интерферометр.

Umbetov A.U.

**Bipolizator from the Icelandic
spar**

The theory of cooperation of hertzian waves with substances in fundamental research presents both theoretical and practical interest. An analysis and synthesis of the optical systems from monaxonic crystals show the important value of their application in the optical-electronic devices of transmission, distribution and treatment of information. One of interesting on the functional possibilities of the crystal optical systems is bipolarizator (BP). In the real work the method of calculation of motion of hertzian waves is shown in bipolarizator and feature of origin of interference pictures on the exit of bipolarizator . Using bipolarizator in a laser radiation, by means of interference of the hertzian waves formed to them on an exit it is possible with greater exactness to define locations small longitudinal displacement and corner of turns of objects. Thus on a base bipolarizator it is possible to create a number of laser polarization interferometric devices using in various directions coherent optics.

Key words: hertzian waves, crystal, quantum electronics, bipolarizator, interference, laser, polarization, interferometer.

Умбетов А.У.

**Биполяризатор
из исландского шпата**

Теория взаимодействия электромагнитных волн с веществами в фундаментальном исследовании представляет как теоретический, так и практический интерес. Анализ и синтез оптических систем из одноосных кристаллов показывают важное значение их применения в оптико-электронных устройствах передачи, распределения и обработки информации. Одной из интересных по своим функциональным возможностям кристаллооптических систем является биполяризатор (БП). В настоящей работе показан оригинальный метод расчета хода электромагнитных волн в биполяризаторе и особенности возникновения интерференционных картин на выходе биполяризатора. Используя биполяризатор в лазерном излучении с помощью интерференции электромагнитных волн, сформированных им на выходе, можно с большей точностью определить местоположения малых продольных смещений и угла поворота объектов. Таким образом, на базе биполяризатора можно создать целый ряд лазерных поляризационных интерферометрических устройств, использующих в разных направлениях когерентной оптики.

Ключевые слова: электромагнитные волны, одноосные кристаллы, квантовая электроника, биполяризатор, интерференция, лазер, поляризация, интерферометр.

ИСЛАНД ШПАТЫНАН ЖАСАЛЫНҒАН БИПОЛЯРИЗАТОР

Кіріспе

Квантты электроника мен когерентті оптиканың дамуына байланысты әртүрлі кристалды оптикалық жүйелердің ғылыми техникалық және өндірістік құрылымдарда қолданылуы кең түрде артты. Кристалды оптикалық қондырғылардың көмегімен лазер сәулелерін басқару, амплитудасын, жиілігін, фазасын және поляризациясын басқару сәтті шешіледі. Сонымен бірге жарық сәулесін үздікті және үздіксіз сканерлеу, сапасын модуляциялау және оптикалық резонатордың модтарын бөліп алу, оптикалық сәулелердің ұзақтылығы мен түрін басқару сәтті шешіледі [1, 2]. Кристалды оптикалық жүйелер, сонымен қатар кеңістіктік кодировкалау және декодировкалау үшін, басқармалы кеңістіктік сүзгіштерді құру үшін қажет [3]. Кристалды оптикалық жүйелер негізінде көптеген поляризациялық интерферометрлік қондырғылар жасалынған [4]. Олардың көмегімен үлкен дәлдікпен оптикалық денелерді өңдеу, сапасын анықтауға [5], лазер сәулелерінің геометриялық параметрлерін, лазер сәулесінің өрісінің кеңістіктік корреляциялық функциясын және когеренттік дәрежесін анықтай аламыз [6].

Электромагнитті толқындардың анизотропты кристалдардағы таралуының теориясы, орталардың бөліну шекарасындағы шағылу және сыну заңдары жеткілікті дәрежеде жақсы зерттелінген [7]. Алайда бірнеше анизотропты кристалдардан тұратын жүйелердегі лазерлердің жолын қатаң түрде есептеу үлкен, инженерлік есептеулерге жарамсыз өрнектерге алып келеді. Және кристалды оптикалық жүйелердің жалпы қасиеттерін зерттеуге мүмкіндік бермейді.

Оқулықтарда белгілі қосарланып сындырғыш призманың сәулелердің жолын есептеу [8,9] призманың кіріс қабырғасының жарықтың нормаль түсіуімен шектеледі және әрбір жеке призмаға бөлек есептелінеді. Қосарланып сындыратын айнымалы екілену бұрышты призмалардағы (КСАЕБП) жолдарын есептеу әдістемесі белгілі [10]. Және Дове түріндегі призмалардағы есептеу әдістемесі де белгілі [11].

Берілген жұмыста биполяризацияларды теориялық және тәжірибе жүзінде толығырақ зерттеу мақсат етіп қойылды. Жүйенің құрамдарындағы кристалдардың оптикалық осьтері әртүрлі бағытталады.

Жұмыста келесі міндеттер орындалды.

1. Биполяризациядан электромагнитті толқындардың өтуінің жалпы есептеу әдістемесін жасау. Бұл әдіс айтылған жүйелердің қасиеттерін талдауға ыңғайлы және инженерлік есептеулерге тиімді.

2. Биполяризацияда поляризациялық сәулелерді жіктеу режимінде олардың арасындағы интерференция құбылысын зерттеу.

3. Бифокалды линзалар мен биполяризациядың жаңа лазерлік өлшегіш құралдарды құру үшін қолданылу мүмкіндіктерін зерттеу.

Биполяризатор

Инновациялық технологиялардың ғылым мен өндірістегі алатын орнының ерекшелігіне сәйкес іргелі зерттеулерді дамыту маңызды. Солардың ішінде электромагнитті толқындардың құрылымдары әртүрлі оптикалық жүйелерден өту теориясының практикалық маңызы зор. Кристалды оптикалық жүйелер негізінде әртүрлі бағыттар мен мақсаттар үшін қолданылатын лазерлі поляризациялық интерферометрлер алуға болады. Сондай оптикалық жүйелердің бірі – биполяризатор (БП).

Биполяризатор (БП) 1 а.б.суретте көрсетілгендей құрылым түрінде болады. Исланд шпатынан жасалған призма көлденең кимасы теңбүйірлі трапеция түрінде (Дове призмасы) үлкен негізі бойынша канадтық бальзаммен желімделеді. CaCO_3 жасалынған Дове призмасы жұмыста қарастырылған. Бұл жұмыста қарастырылған құрылымның айырмашылығы оптикалық осьтердің бағыттарына байланысты. Дове призмасындағы төменгі және жоғарғы бөліктерінде оптикалық осьтерінің бағытталынуы осьтер вертикалді жазықтықта орналасқан. 1б суретте өзара параллель және желімделіну жазықтығымен $\pi/4$ бұрыш құрайтындығы көрсетілген. Осьтердің бағыттарының осылай таңдап алынуы БП лазер сәулелерімен жұмыс істегенде ыңғайлы болады. Лазер сәулелерінің электр өрісінің кернеулі \vec{E} – вертикаль бағытталған. БП формасын параметрлерімен белгілейік. Жалпы негізінің ұзындығы $A_1A_2 = 2a$ бүйір қабырғасының ұзындығы

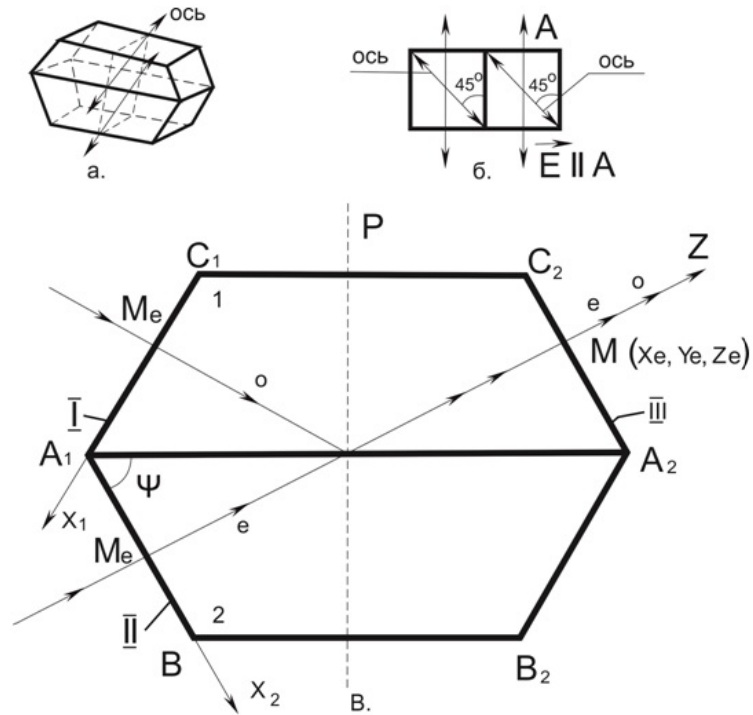
1в-суретте $A_1B_1=1$, $L(A_2A_1B_1)=\varphi$ көрсетілген. φ бұрышы шеңберлі порляризацияланған сәуле қабырғаға аз бұрышпен түскен кезде БП-да (о) кәдімгі (е) кәдімгі емес сәулелерге бөлінетіндей етіп таңдап алынады. е-сәуле желімнің қабаты арқылы өтеді (желім келесі шартты қанағаттандырады $n_e < n_{k,b} < n_0$), ал о-сәуле желімделген бөлікте A_1A_2 толық ішкі шағылуға ұшырайды және A_2C_2 қабырға арқылы шығады. Дәл осылай шеңберлі порляризацияланған сәуле A_1B_1 қабырғасына нормаль түсе отырып, о-сәулеге бөлінеді. Ол желімденген бөліктен АА толық ішкі шағылуға ұшырайды, ал е-сәуле желім қабаты арқылы өтіп, БП-дан АС қабырғасы арқылы шығады. $\varphi = 65^\circ$ бұрыш қойылған талаптарды қанағаттандырады [12].

БП шағысында о-және е сәулелер анализатормен біріктіріледі. Анализатор БП қабырғасына перпендикуляр қойылған, осыдан интерференциялық сурет пайда болады. Интерференциялық сурет A_1C_1 және A_1B_1 қабырғаладағы сәулелердің пайда болу шартымен анықталады.

Тәжірибеде шеңберлі поляризацияланған сәуле A_1B_1 қабырғаға түседі, жартылай мөлдір (ПП) айнадан өте отырып, интенсивтіліктері бірдей екі сәулеге жіктеледі. ПП айнадан шағылған сәуле, толық шағылдыратын (ПО) айнаның көмегімен A_1C_1 қабырғаға түседі. Екі сәуленің БП арқылы өтуін сипаттау үшін A_1C_1 және A_1B_1 қабырғаларымен байланысты екі K және K^1 координаттар жүйесін енгіземіз. Бұл жағдайда z осі берілген қабырғаларға тұрғызылған сыртқы нормальдың бағытымен сәйкес келеді.

Тәжірибеде жақсы коллимирленген шеңберлі поляризацияланған лазер сәулесі қолданылады [2, 55 б]. Бірінші келесі шартты қарастырамыз. A_1C_1 және A_1B_1 қабырғаларға нормаль бағытта екі сәуле түссін. БП шығысындағы қабырғасында A_2C_2 екі сәуленің жарық орындары өзара сәйкес келеді (бағыттас сәулелер). K және K^1 координаттар жүйесіндегі оптикалық осьтердің ортасына сәйкес келесі түрде жазылады.

$$\vec{a} = \left\{ \frac{\sin \Psi}{\sqrt{2}} \quad \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \frac{\cos \Psi}{\sqrt{2}} \right\} \quad \left\{ \vec{a}^1 = \frac{\sin \Psi}{\sqrt{2}} \quad \frac{1}{\sqrt{2}} \quad -\frac{\cos \Psi}{\sqrt{2}} \right\} \quad (1)$$



1-сурет – а) Биполяризатордың (БП) аксиометриялық түрі; б) P қимадағы БП түрі; в) БП-ғы o - және e - толқындардың таралуы

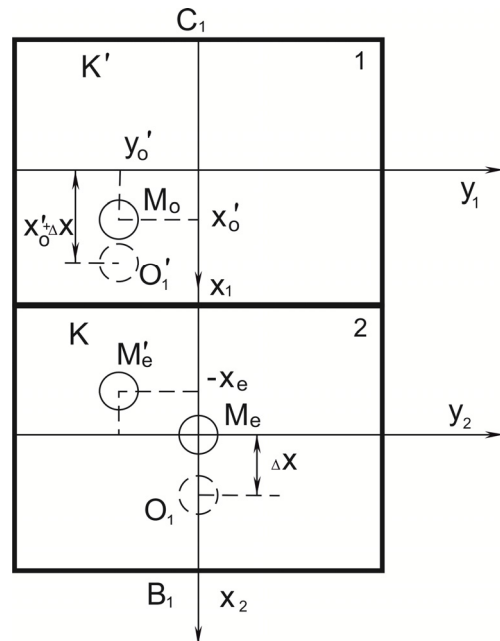
Коллимерленген сәуленің ортасы A_1B_1 қабырғасының геометриялық ортасына түссін. Бізге e -сәулесінің траекториясы қажет. 2-суретте БП бағыты кристалдағы e -толқынның топтық жылдамдығының бағытымен сипатталатындығы көрсетілген. Бұл бағытты \vec{S} бірлік векторымен, ал толқындық вектордың бағытын \vec{K}_1^e бірлік векторымен анықтаймыз. Бұл вектор A_1B_1 қабырғадан сыну шартынан шығады:

$$\vec{K}_1^e = \left\{ \frac{\infty}{n_e} 0; 1 \right\}, \quad (2)$$

келесі өрнек орындалады

$$\vec{S} = \mu \vec{k} + \eta \vec{a}, \quad (3)$$

μ және η коэффициенттерді өрнегін қоя отырып келесі түрде жазамыз



2-сурет – BC қимадағы биполяризациялардың (БП) түрі

$$(\vec{s}a)^2 = \frac{n_e^4 (\vec{k}_1^e a)}{n_0^4 - (n_0^4 - n_e^4) (\vec{k}_1^e a)^2}. \quad (4)$$

(3) өрнек $|\vec{s}|=1$ шартымен бірге μ және η коэффициенттері үшін келесідей өрнектерді береді. Ол үшін k_1^e векторды нормальдың бағытымен дәл келеді немесе өз айырмашылығы бар, ал $\frac{n_e^2 - n_0^2}{n_0^2}$ шамасы аз деп есептейміз.

$$\eta = -\left(\frac{n_e^2}{n_0^2}\right) (\vec{a} K_1^e), \quad \mu = 1 \quad (5)$$

және

$$\vec{S} = \vec{K} + \left(1 - \frac{n_e^2}{n_0^2}\right) (\vec{a} K_1^e) \vec{a}.$$

e-сәулесінің кристалдағы траекториясының теңдеуі келесі түрде беріледі.

$$\frac{X}{S_x} = \frac{Y}{S_y} = \frac{Z}{S_z}. \quad (6)$$

Осыдан e-сәулесінің ортасы A_2C_2 қабырғадағы $M'_e(X_e, Y_e, Z_e)$ нүктесіне түседі (к координаттар жүйесі қолданылады) және келесі өрнек түрінде беріледі:

$$\begin{aligned} X_e &= -a \sin \Psi \left(1 - \frac{n_e^2}{n_0^2}\right) \sin \Psi \cos \Psi, \\ Y_e &= -\sin \Psi \left(1 - \frac{n_e^2}{n_0^2}\right) \cos \Psi, \\ Z_e &= 2a \sin \Psi. \end{aligned} \quad (7)$$

o-сәулесінің жолын қарастыра отырып 1-суреттегі A_1C_1 қабырғаға $M'_0(X'_0, Y'_0, 0)$ жүктеге нормаль түсуі керек деп айта аламыз (k' жүйеде).

$$X_0^1 = -a \sin^2 \Psi \left(1 - \frac{n_e^2}{n_0^2}\right) \cos \Psi,$$

$$Y_0^1 = -a \left(1 - \frac{n_e^2}{n_0^2}\right) \sin \Psi \cos \Psi. \quad (8)$$

Сонымен шығыс қабырғада жарық орындарының сәйкестілігін қамтамасыз ететін сәуленің бастапқы жағдайы келесідей болуы қажет: A_2C_2 қабырғаға 2 сәуле оның геометриялық орталығына нормаль түседі, A_1C_1 қабырғасына қосымша айнардың көмегімен 1 сәуле нормаль бағытталады. Ол координатасы (8) және оның геометриясының орталығынан ығысқан нүктеге түседі.

Алда көрсетілетіндей БП өте аз бұрыштық ығысуды өлшеу үшін қолдануға болады (бұрыштық бірлік секунд) және (8) өрнектегі шарт БП-ның шығысында жарық сәулелерінің сәйкестігін анықтайды. БП идеалды дайындалған жағдайда оның шығысындағы жарық орындарының (дактардың) жарықталынуы бірдей болады.

Енді БП у осінің бойында қандай да бір α аз бұрышқа бұрған жағдайдағы сәулелелік траекториялардың суретін қарастырамыз. Ол желімденген A_1A_2 жазықтықта жатады.

$$\Delta X = \frac{\alpha l}{2} \operatorname{tg} \Psi \quad (9)$$

Бұрынғыдай e- сәулесінің осі үшін теңдеу құра отырып, (5) өрнектің және (2) өрнектің векторының көмегімен α^2 ретті шамасын ескермейміз, осы осьтің A_2C_2 шығыс қабырғасындағы $M'_e(X_e, Y_e, 2\alpha \sin \psi)$ нүктемен қиылысуын аламыз. Ол нүктенің координаталары (К жүйесінде) келесі түрде болады:

$$\begin{aligned} X_e^1 &= \frac{\alpha l}{2} \operatorname{tg} \Psi + a \sin \Psi \left[\frac{\alpha}{n_e} \left(1 - \frac{n_e^2}{n_0^2}\right) \frac{\sin \Psi \cos \Psi}{2} \right], \\ Y_e^1 &= -h \left(1 - \frac{n_e^2}{n_0^2}\right) \left(\frac{\cos \Psi}{2} + \frac{\alpha}{n_e} \times \frac{\sin \Psi}{2} \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Тікелей геометриялық қарастырудың (1-сурет) көмегімен o-сәулесінің осінің A_2C_2 қабырғаның шығысындағы сәйкес қиылысу нүктесі $M'_0(x'_0, x'_0, Z \alpha \sin \psi)$, сонда келесі өрнекке тең болады:

$$X_0^1 = -a \left(1 - \frac{n_e^2}{n_0^2}\right) \sin^2 \Psi \cos \Psi - \frac{\alpha l}{2} \operatorname{tg} \Psi + \frac{2a \sin \Psi}{n_0},$$

$$Y_0^1 = -a \left(1 - \frac{n_e^2}{n_0^2}\right) \sin \Psi \cos \Psi. \quad (11)$$

Бұдан өлшенетін бұрыштардың жоғары шегін шектейтін шартты аламыз. Шындығында сәйкес интерференциялық сурет пайда болу үшін о-және е-сәулелері A_2C_2 шығыс қабырғада қиылысулары қажет. Бұл сәулелердің радиусын r_0 десек онда $M_e' M_0' < 2r_0$ немесе мынаған тең:

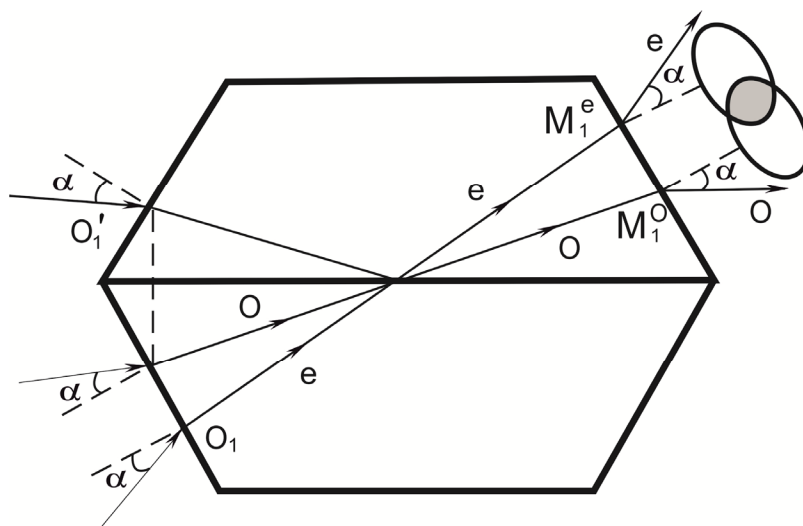
$$\alpha < \frac{r_0 \operatorname{ctg} \Psi}{\sqrt{\left(1 + 2\alpha \cos \Psi \left(\frac{1}{n_e} - \frac{1}{n_0}\right)\right)^2 + a^2 \sin^2 \Psi \cos^2 \Psi \frac{1}{n_e^2} \left(1 - \frac{n_e^2}{n_0^2}\right)}}. \quad (12)$$

Бұрыштық шектерді үлкейтуге болады, егер БП о-және е-сәулелердің шығыс қабырғадағы шашырайтын жағдайына келтірсек бұны жасауға болады, егер (8) өрнектегі нүктені шығыс қабырғадағы K' жүйеде X' осінің бойында аз шамаға ығыстырсақ, алайда бұл әдіс сәулесінің бұрыштың ауытқу бағыты алдын ала белгілі болғанда дұрыс. БП мен жүргізілген тәжірибеде қолданылған параметрлер үшін ($l=11$ мм, $d=11.7$ мм, $\psi=68^\circ$) және $r_0=3$ мм болғанда (12) өрнектен $\alpha < 3^\circ$ аламыз. Бұл шама тәжірибемен сапалы түрде сәйкес келеді.

БП-шығысында сәулелердің қиылысуынан пайда болатын интерференциялық сурет 3-суретте келтірілген. о және е-сәулелердің траекториясы көрсетілген. Ол осы сәулелерді келтірілген жағдайда және БП α - бұрышқа бұрған жағ-

дайда пайда болады. БП бастапқыда орнатқан жағдайда ол A_1B_1 және A_1C_1 қабырғаларға о-және е-сәулелердің нормаль енуіне сәйкес келеді [13, 89 б]. Бұл жағдайда о-және е-сәулелер A_2B_2 қабырғасына нормаль шығады. Шығу нүктесінің координатасы (8) өрнекпен анықталады. БП қандай да бір α - бұрышқа бұрған кезде о-және е-сәулелердің A_2C_2 қабырғадағы түсу нүктесі әртүрлі болады. о-сәулесіне сәйкес келетін нүкте x осіне параллель бағытта ығысады, ол е-сәулесі келесі өрнекпен сипатталатын түзу бойымен таралады:

$$Y - Y^1 = (x - x_0) \frac{\frac{\cos^2 \Psi}{n_e} \left(1 - \frac{n_e^2}{n_0^2}\right)}{\frac{1}{2a} + \frac{2 \cos \Psi}{n_e}} \quad (13)$$



3-сурет – Биполяризатордың о- және е- толқындардың интерференция режиміндегі жұмысы

Ағындардағы толқындық өрісті жазық толқындармен өрнектейтін болсақ, мысалы толқынның электр векторы үшін анализаторды өткеннен кейін к координаттар жүйесінде келесідей жазуға болады.

$$\vec{E}_0 = E^0 e^{-i\frac{w}{c} \sin \alpha x + i\frac{w}{c} \cos \alpha z}$$

$$\vec{E}_e = E^0 e^{-i\frac{w}{c} \sin \alpha x + i\frac{w}{c} \cos \alpha z + i\Delta} \quad (14)$$

мұндағы \vec{E}^0 – кешенді амплитуда, қарапайымдылық үшін o – және e – толқындарды бірдей ортогоналды поляризациямен алынған (бұл жағдайды анализаторды 45° бұрышқа бұру жолмен жасауға болады), Δ – o – және e – сәулелер арасындағы оптикалық жол айырымы. o -және e -ағындардың қиылысу орындағы интенсивтіліктері келесі қатынаспен анықталады:

$$I = |\vec{E}_0 + \vec{E}_e|^2 = 4|E^0|^2 \cos^2 \frac{w}{c} \sin \alpha * x + \frac{\Delta}{2}. \quad (15)$$

Максимум шарты келесі қатынаспен орындалады:

$$\frac{w}{c} \sin \alpha * x + \frac{\Delta}{2} = \pi S, \quad (16)$$

мұндағы S – бүтін сан.

Интерференциялық сурет эквидистанттық жолақтар жүйесі түрінде болады. Олар y осіне параллель және жолақтар арақашықтығы (16) өрнекпен анықталады.

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2\alpha} \quad (17)$$

мұндағы λ – сәуленің толуының ұзындығы.

Интерференциялық суреттің сызықтарын ажырату шегі микроскоптың ажратқыштық күшімен және сәуленің толқын ұзындығымен анықталады. Микроскоптың көмегімен интерференциялық суретті бақылаймыз.

Қорытынды

Биполяризатор құрылымы ерекше поляризациялық призма. Одан өткен электромагниттердің өту жолын есептеу әдісі – аз параметр әдісі теориялық жағынан және инженерлік есептеулерге ыңғайлы нәтижелер береді. Биполяризатордың шығысындағы поляризациялық сәулелердің интерференциясының жолақтар айырымын есептеу өрнегі оны әртүрлі мақсаттарға қолдануға мүмкіндік береді. Соның бірі биполяризаторды қандай да бір зерттелінетін денемен біріктіре отырып, интерференциялық жолақтардың ығысу шамасын анықтау негізінде үлкен дәлдікпен денелердің өте аз шамаға ығысуын және бұрылу бұрышын анықтай аламыз.

Әдебиеттер

- 1 Осипов Ю.В. Пространственные мультипликатор сигналов // Изв. вузов. Радиофизика. – 1992. – Т. XV. – №12.
- 2 Батраков А.С., и др. Лазерные измерительные системы – М.: Радио и связь, 1991.
- 3 Гирард А. Nouveaux dispositifs de spectroscopie a grande luminosite // Optica Acta. – 1990. – Vol.7.
- 4 Франсон М. Оптикал Интерферометры. – Академиц Пресс, 1986. ПартВИИ5; Коломииньтсов Ю.В. Интерферометры. – Л.: Машиностроение, 1996.
- 6 Сороко Л.М. Основы когерентной оптики и голографии. – М.: Наука, 2004.
- 7 Федоров Ф.И., Филиппов В.В. Отражение и преломление света прозрачными кристаллами. – Минск: Наука, 1996.
- 8 Борн М., Вольф Е. Основы оптики. – М.: Наука, 2001.
- 9 Ландсберг Ф.С. Оптика. – М.: Наука, 1996.
- 10 Запаскии В.С. Поляризаторные приборы. – М., 2011.
- 11 Подкин И.А., Шитанов К.В. Сборник реферативных работ по курсу «Прикладная оптика». – Ижевск, 2008.1
- 12 Барсуков К.А., и др. О двухпреломляющих призмах переменных угла двоения // Оптика и спектроскопия. – 1998. – Т. 48, вып.3.
- 13 Бижигітов Т. Жалпы физика курсы. – Алматы, 2013.

References

- 1 Osipov YU.V. Prostranstvennyy mul'tiplikator signalov // Izv. vuzov. Radiofizika. – 1992. – Т. XV. – №12.
- 2 Batrakov A.S., i dr. Lazernyye izmeritel'nyye sistemy – M.: Radio i svyaz', 1991.
- 3 Girard A. Nouveaux dispositifs de spectroscopie a grande luminosite // Optica Acta. – 1990. – Vol.7.

- 4 Franson M. Optical Interferometry. – Academic Press, 1986. PartVII5; Kolomiitsov YU.V. Interferometry. – L.: Mashinostroyeniye, 1996.
- 6 Soroko L.M. Osnovy kogerentnoy optiki i golografii. – M.: Nauka, 2004.
- 7 Fedorov F.I., Filippov V.V. Otrazheniye i prelomleniye sveta prozrachnymi kristallami. – Minsk: Nauka, 1996.
- 8 Born M., Vol'f E. Osnovy optiki. – M.: Nauka, 2001.
- 9 Landsberg F.S. Optika. – M.: Nauka, 1996.
- 10 Zapasskiy V.S. Polyarizatsionnyye pribory. – M., 2011.
- 11 Podkin I.A., Shitanov K.V. Sbornik referativnykh rabot po kursu «Prikladnaya optika». – Izhevsk, 2008.1
- 12 Barsukov K.A., i dr. O dvukhprelomlyayushchikh prizmakh peremennykh ugla dvoyeniya // Optika i spektroskopiya. – 1998. – T. 48, vyp.3.
- 13 Bizhigitov T. Zhalpy fizika kursy. – Almaty, 2013.