

Лекция - 11. Жарықтың анизотропты орталарда таралуы. Анизотроп орта. Диэлектрик өтімділіктің тензоры. Қосарланып сыну. Кәдімгі және ерекше сәулелер. Қосарланып сынған сәулелердің поляризациялануы.

Лекцияның мақсаты: Анизотропты орталардың физикалық табиғатын, қосарланып сыну құбылысының (екі сәуле түзілуінің) себептерін және кәдімгі мен ерекше сәулелердің поляризациясын түсіндіру. Диэлектрлік өтімділік тензоры мен кристалдардың оптикалық қасиеттерінің бағытқа тәуелділігін талдау.

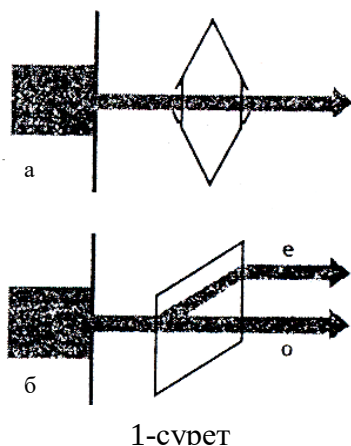
Негізгі сұрақтар

1. Анизотропты орталар және олардың оптикалық қасиеттері.
2. Диэлектрлік өтімділіктің тензоры.
3. Қосарланып сыну (двойное лучепреломление) және оның себептері.
4. Кәдімгі және ерекше сәулелердің поляризациялануы.
5. Бірөсті және екіөсті кристалдар.
6. Поляроидтар және олардың қолданылуы.

Қысқаша мазмұны

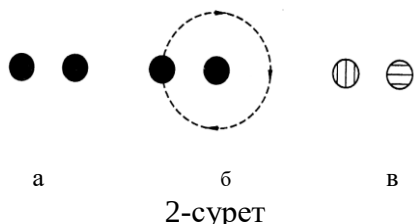
Ортаның физикалық қасиеттері ортадағы бағытқа байланысты әртүрлі болатын орта **анизотропты** деп аталады.

Қалыпты жағдайларда газ түріндегі, сұйық және аморфты қатты диэлектриктер оптикалық изотропты болатындығы, ал кристалдық диэлектриктердің көпшілігі оптикалық анизотропты болатындығы зерттеулерден анықталған. Мәселен, исландия шпатының кристалы (кальцит) жарықты оған жарық қай жағынан түсірілуіне байланысты әртүрлі сындырады. Осы кристалда бір бағыттың болатындығы анықталған, осы бағыт бойымен түсірілген жарық сәулелері сынбай түзу сызықты өтеді (1а-сурет). Басқа бағыттарда сәуле кристалл арқылы өткенде екіге жіктеледі; **жарықтың қосарлана сынуы** (қосарлана сәулесынушылық - двойное лучепреломление) деп аталатын құбылыс байқалады (1б-сурет). Оптикалық қасиеттердің кристалдағы бағытқа осындай тәуелділігі **оптикалық анизотропия** деп аталады. Кристалдардың анизотропты қасиеттерін көрсететін бірнеше мысал қарастырайық.



Жарық сәулесінің қосарлана сынуы бойынша жүргізілген алғашқы тәжірибелердің біреуі сөлбалық (схемалық) түрде 1б-суретте келтірілген. Ақ жарық шоғы исландия шпатының кристалы арқылы өтеді де қалқада (экранда) интенсивтіктері бірдей екі ақ дақ алынады (2-сурет). Кристалды түсетін жарық шоғының осіне қатысты бөріанда қалқадағы бір дақ қозғалмайды, ал екінші дақ біріншіні айнала бөрылады. Поляроид көмегімен сәулелердің поляризациясын зерттегенде кристалдан шыққан сәуленің екеуі де сызықты поляризацияланған және бұлардың поляризация бағыттары өзара перпендикуляр болатындығы анықталған. Бұл әсіресе түсетін шоқ осіне қатысты кристалды айналдырғанда жақсы көрінеді. Осы

жағдайда кристалдан шығып және поляроид арқылы өткен жарық сәулелері өзінің интенсивтігін периодты түрде өзгертеді және шоқтардың біреуі толық «сөнген» мезетте, екіншісінің интенсивтігі максимум болады. Дәл осындай сурет кристалды қозғалтпай, поляроидты айналдырғанда да байқалады.



Жарық сәулелерінің қосарланып сынғанда поляризациялануы

Табиғи жарық сәулесі исландия шпатының кристалы арқылы өткенде екі сәулеге бөлінетіндігі байқалды. Осы құбылыс **сәуленің қосарланып сынуы** деп аталды. Сәуленің қосарланып сынуы (двойное лучепреломление) – анизотропты заттардың түскен жарық сәулесін әртүрлі фазалық жылдамдықпен, әртүрлі бағытта таралатын өзара перпендикуляр бағыттарда поляризацияланған екі сәулеге бөлшектеу қабілеті туғызатын құбылыс. Заттардың анизотроптығы осы заттардың физикалық қасиеттерінің бағытқа тәуелділігі. Кристалдардың көпшілігі (кубтық жүйедегі кристалдардан басқалары) анизотропты: бұлардың салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі мен сыну көрсеткіші жарық толқынындағы $\vec{E}$ электрлік вектордың бағытына тәуелді болады. Жіңішке жарық шоғы жеткілікті қалың анизотропты кристалға, мысалы исландия шпатына, түскенде одан сәуленің қосарланып сынуы нәтижесінде кеңістікте ажыратылған бір-біріне және түскен сәулеге параллель екі сәуле шығады (4-сурет). Тіпті бастапқы сәуле кристалға нормаль түскенде сынған шоқ екіге жіктеледі: бұлардың біреуі бастапқы шоқтың жалғасы болады, ал екіншісі-ауытқиды (5-сурет). Осы сәулелердің біреуі Гюйгенс заманынан бері **кәдімгі «оң»**, екіншісі - **өзгеше «оң» сәуле** деп аталады.

Кез-келген анизотропты кристалда сәуленің қосарланып сынуы болмайтын кем дегенде бір бағыт болады, осы бағытта түскен сәуле екіге жіктелмейді және оның поляризация күйі де өзгермейді. Осы бағыт кристалдың оптикалық өсі деп аталады. Берілген жағдайда оптикалық ось деп кристалдың қандайда бір нүктесі арқылы өтетін түзу сызық жайында емес, бағыт жайында ғана айтуға болады.

Берілген бағытқа параллель өтетін кез-келген түзу кристалдың оптикалық өсі болып табылады, ал жарық шоғы оның бойымен таралғанда сәуленің қосарланып сынуына өшпйрамайды. Табиғатта біресті және екіөсті кристалдар болады. Біріншіге исландия шпаты [оның оптикалық өсі MN диагоналы бойымен бағытталған (4-сурет)], кварц, турмалин, ал екіншіге - слюда, гипс, топаз жатады.

Поляроидтар

Поляризаторлар ретінде поляроидтар да пайдаланылады. Поляроид - күшті іріктей жөту қабілеті бар герапатит кристаліктері жапсырылған пленка. Қалыңдығы шамамен 0,1мм болатын осындай пленка сәулелердің біреуін іріктеп жөтатындығы тағайындалған. Осының нәтижесінде бұл поляризатор бола алады. Поляроидтар арзанға түседі, апертуралық бұрышы 180^0 -қа жақын, оңай дайындалады және мөлшерін үлкен етіп жасауға болады. Исландия шпатынан жасалған призмалармен салыстырғанда поляроидтардың бір кемшілігі бұлардың мөлдірлігі жеткіліксіз және әртүрлі толқын өзіндіктерде іріктей жөтатындығы.

Бақылау сұрақтары

1. Анизотропты және изотропты орталардың айырмашылығы неде?
2. Диэлектрлік өтімділік тензоры нені сипаттайды?
3. Қосарланып сыну құбылысы қалай пайда болады?
4. Кәдімгі және ерекше сәулелердің поляризация бағыттары қандай?
5. Біресті және екіөсті кристалдардың айырмашылығы неде?
6. Поляроид қалай жұмыс істейді және қайда қолданылады?

Ұсынылатын әдебиеттер:

Сивухин Д.В. 3-е изд., стереот. М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2021, 792 с.

Савельев, И.В. Курс общей физики. В 3-х т.: Учебное пособие для студ.вузов/ И.В.Савельев.- 10-е изд., стер.- СПб: Лань. - (Учебники для вузов. Специальная литература) Т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика, 2020, 496с.

Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы. Издательство "Лаборатория знаний", 8-ое издание, 2020, 266 стр.

Иродов И.Е. Задачи по общей физике, 13-е изд. — М.: Лаборатория знаний, 2020, 431 стр.

Жұманов К.Б. Оптика негіздері, Алматы: Қазақ университеті, 2020, 321 бет.

**Аль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық
университеті
Физикалық техникалық факультет**

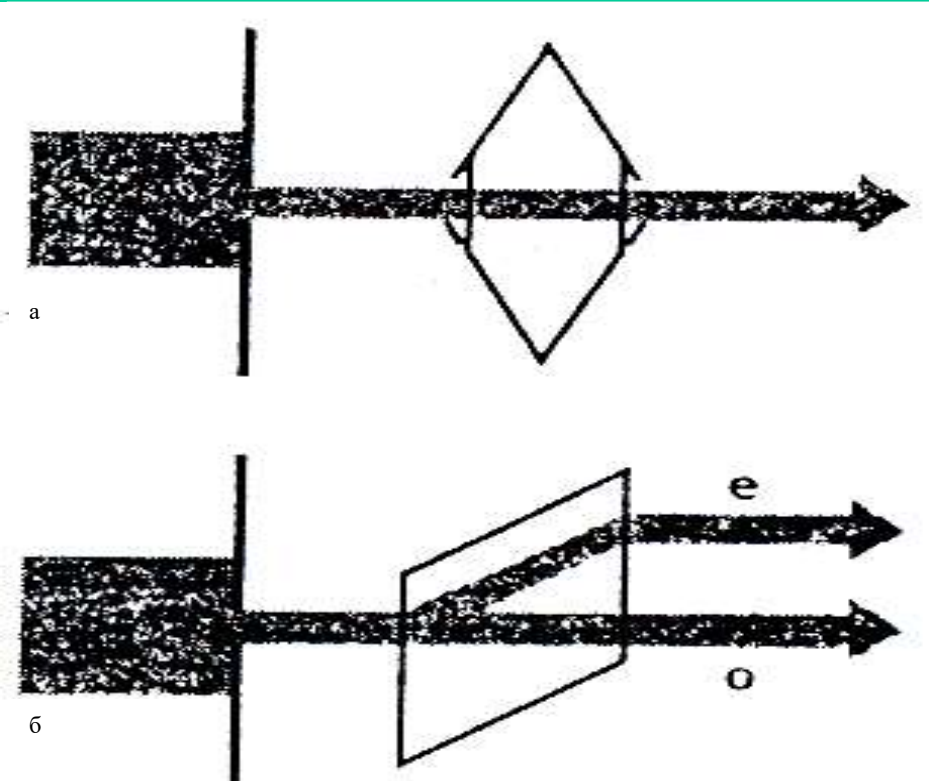
**Жарықтың анизотропты орталарда таралуы.
Анизотроп орта. Диэлектрик өтімділіктің тензоры.
Қосарланып сыну. Кәдімгі және ерекше сәулелер.
Қосарланып сынған сәулелердің поляризациялануы.**

Мархабаева А.А.



Ортаның физикалық қасиеттері ортадағы бағытқа байланысты әртүрлі болатын орта **анизотропты** деп аталады.

Қалыпты жағдайларда газ, сұйық және аморфты қатты диэлектриктер **оптикалық изотропты**, ал кристалдық диэлектриктердің көпшілігі және сұйық кристалдар **оптикалық анизотропты** болатындығы зерттеулерден анықталған.



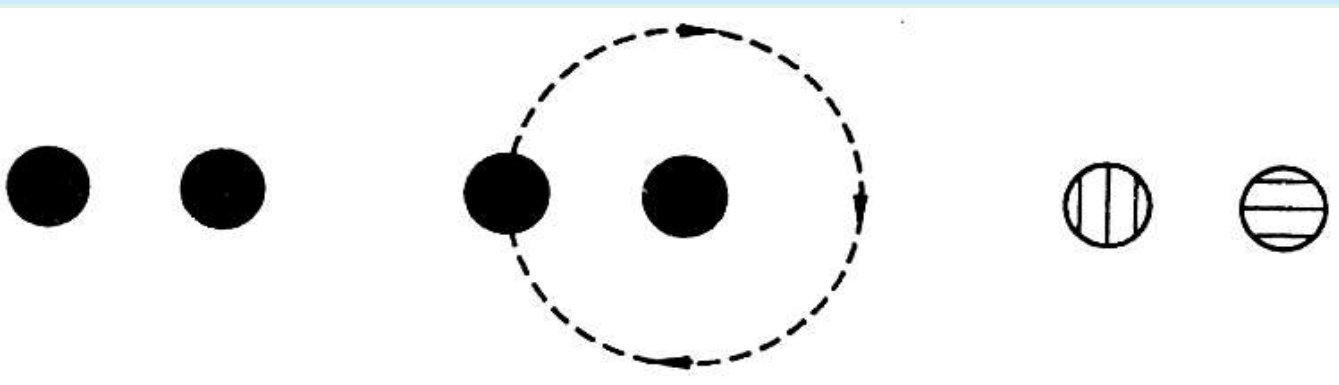
1-сурет

Исландия шпатының кристалы (кальцит) жарықты оған жарық қай жағынан түсірілуіне байланысты әртүрлі сындырады. Осы кристалда бір бағыттың болатындығы анықталған, **осы бағыт бойымен түсірілген жарық сәулелері сынбай түзу сызықты өтеді (1a-сурет).**



Басқа бағыттарда сәуле кристалл арқылы өткенде екіге жіктеледі; жарықтың қосарлана сынуы (қосарлана сәулесынушылық - двойное лучепреломление) деп аталатын құбылыс байқалады (1б-сурет). Оптикалық қасиеттердің кристалдағы бағытқа тәуелділігі оптикалық анизотропия деп аталады.

Ақ жарық шоғы исландия шпатының кристалы арқылы өтеді де қалқада (экранда) интенсивтіктері бірдей екі ақ дақ алынады (2-сурет). Кристалды түсетін жарық шоғының осіне қатысты бұрғанда қалқадағы бір дақ қозғалмайды, ал екінші дақ біріншіні айнала бұрылады.



а

б

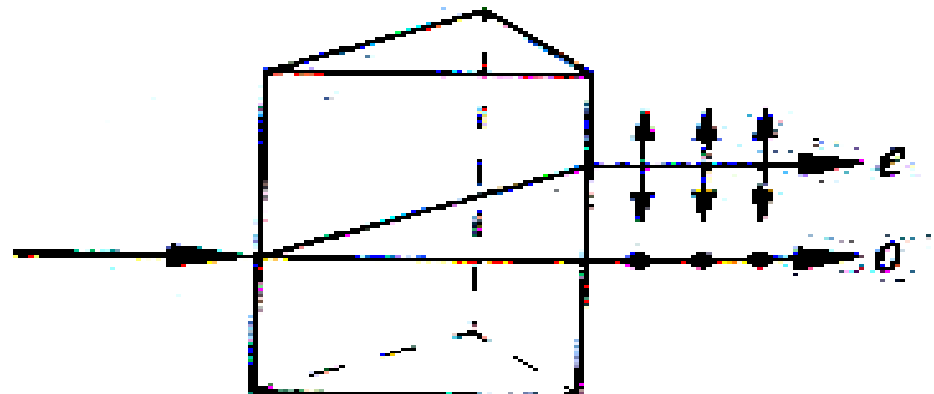
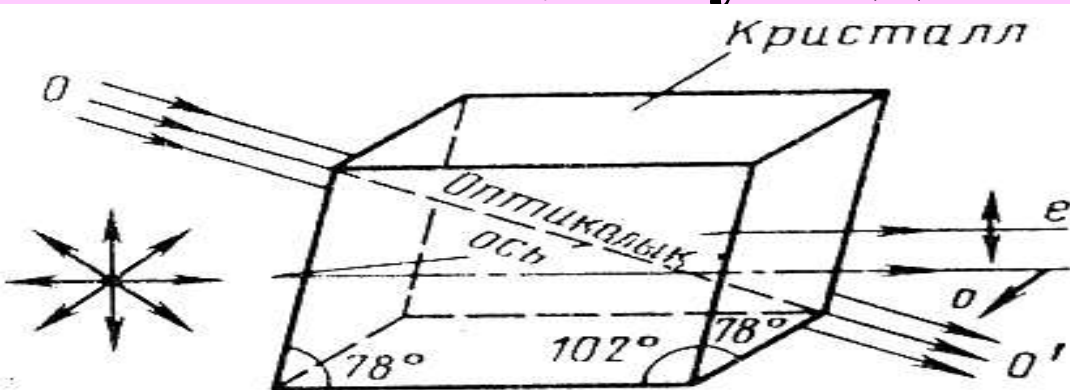
в

2-сурет

Поляроид көмегімен сәулелердің поляризациясын зерттегенде **кристалдан шыққан сәуленің екеуі де сызықты поляризацияланған және бұлардың поляризация бағыттары өзара перпендикуляр болатындығы анықталған.**

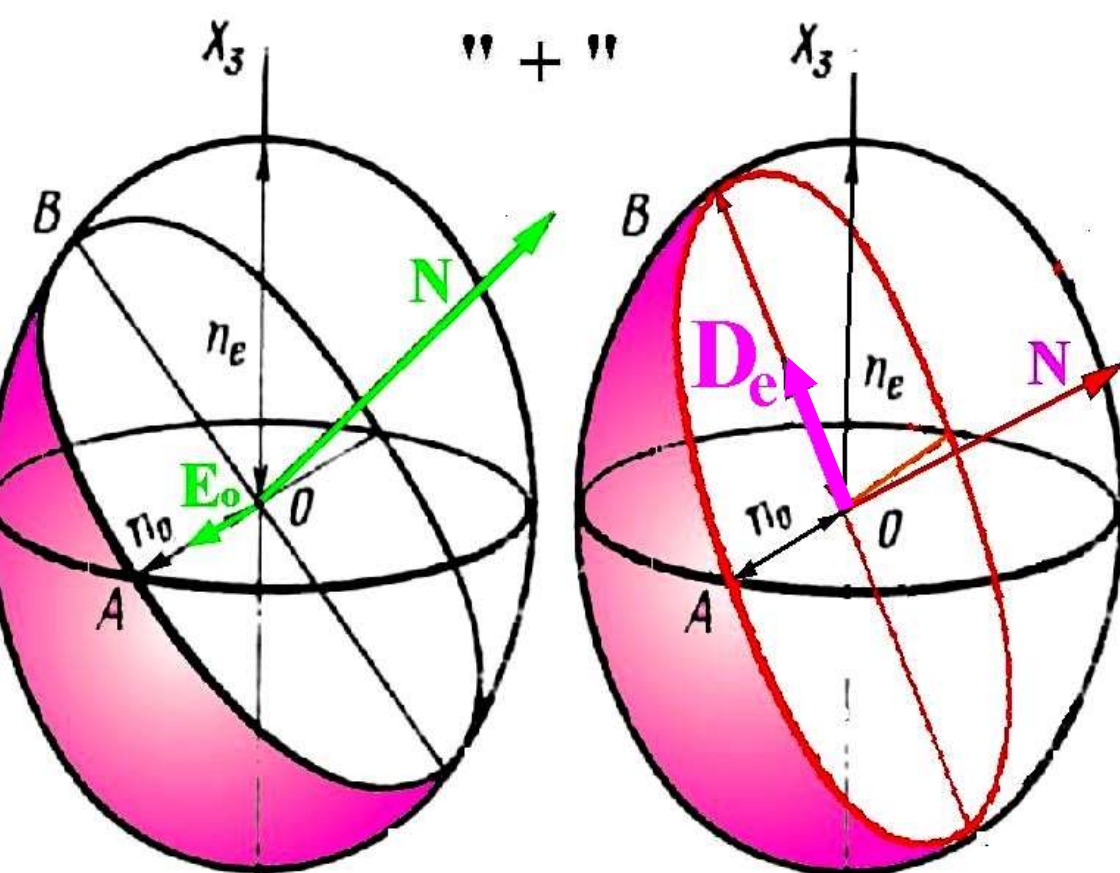
Бұл әсіресе түсетін шок осіне қатысты кристалды айналдырғанда жақсы көрінеді. Осы жағдайда кристалдан шығып және поляроид арқылы өткен жарық сәулелері өзінің интенсивтігін периодты түрде өзгертеді және шоктардың біреуі толық «сөнген мезетте, екіншісінің интенсивтігі максимум болады. Дәл осындай сурет кристалды қозғалтпай, поляроидты айналдырғанда да байқалады.

Кристалдардың көпшілігі (кубтық жүйедегі кристалдардан басқалары) **анизотропты:** бұлардың салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі мен сыну көрсеткіші **жарық толқынындағы** электрлік вектордың бағытына **тәуелді** болады. Бастапқы сәуле кристалға нормаль түскенде сынған шоқ екіге жіктеледі: бұлардың біреуі бастапқы шоқтың жалғасы болады, ал екіншісі-ауытқиды (5-сурет). Осы сәулелердің біреуі кәдімгі «оң», екіншісі - өзгеше «оң» сәуле деп аталады.

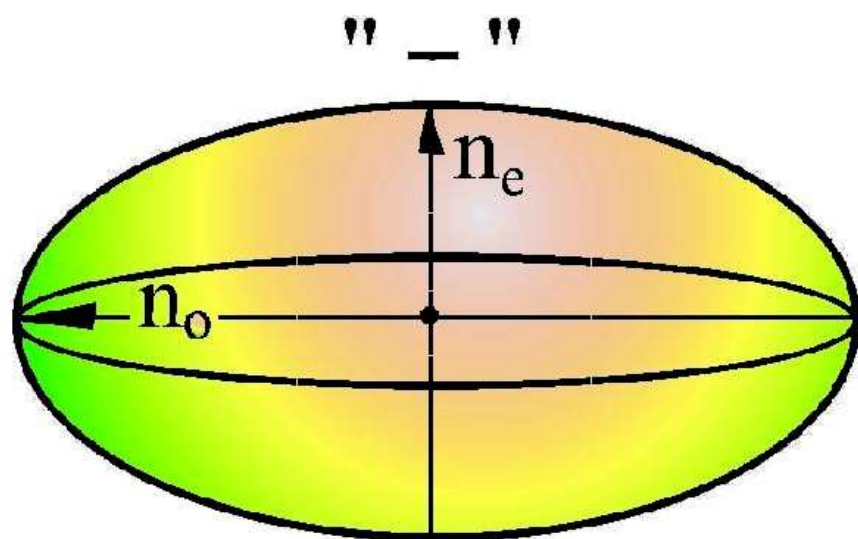


- Кез-келген **анизотропты кристалда сәуленің қосарланып сынуы болмайтын кем дегенде бір бағыт болады**, осы бағытта түскен сәуле екіге жіктелмейді және оның поляризация күйі де өзгермейді. Осы бағыт **кристалдың оптикалық өсі** деп аталады. Берілген жағдайда **оптикалық ось** деп кристалдың қандайда бір нүктесі арқылы өтетін түзу сызық жайында емес, **бағыт** жайында ғана айтуға болады.
- Берілген бағытқа параллель өтетін **кез-келген түзу кристалдың оптикалық өсі** болып табылады, ал жарық шоғы оның бойымен таралғанда **сәуленің қосарланып сынуына ұшырамайды**. Табиғатта бірөсті және екіөсті кристалдар болады. Біріншіге исландия шпаты [оның оптикалық өсі диагоналы бойымен бағытталған (4-сурет)], кварц, турмалин, ал **екіншіге - слюда, гипс, топаз** жатады.

- Кәдімгі және өзгеше сәулелердің өзара перпендикуляр жазықтықтарда поляризацияланған болатындықтары анықталған. Жарық сәулесінің бағыты және кристалдың оптикалық өсі арқылы өтетін жазықтық бірөсті кристалдың **бас жазықтығы** (главная плоскость одноосного кристалла) деп аталады.



Одноосный положительный кристалл



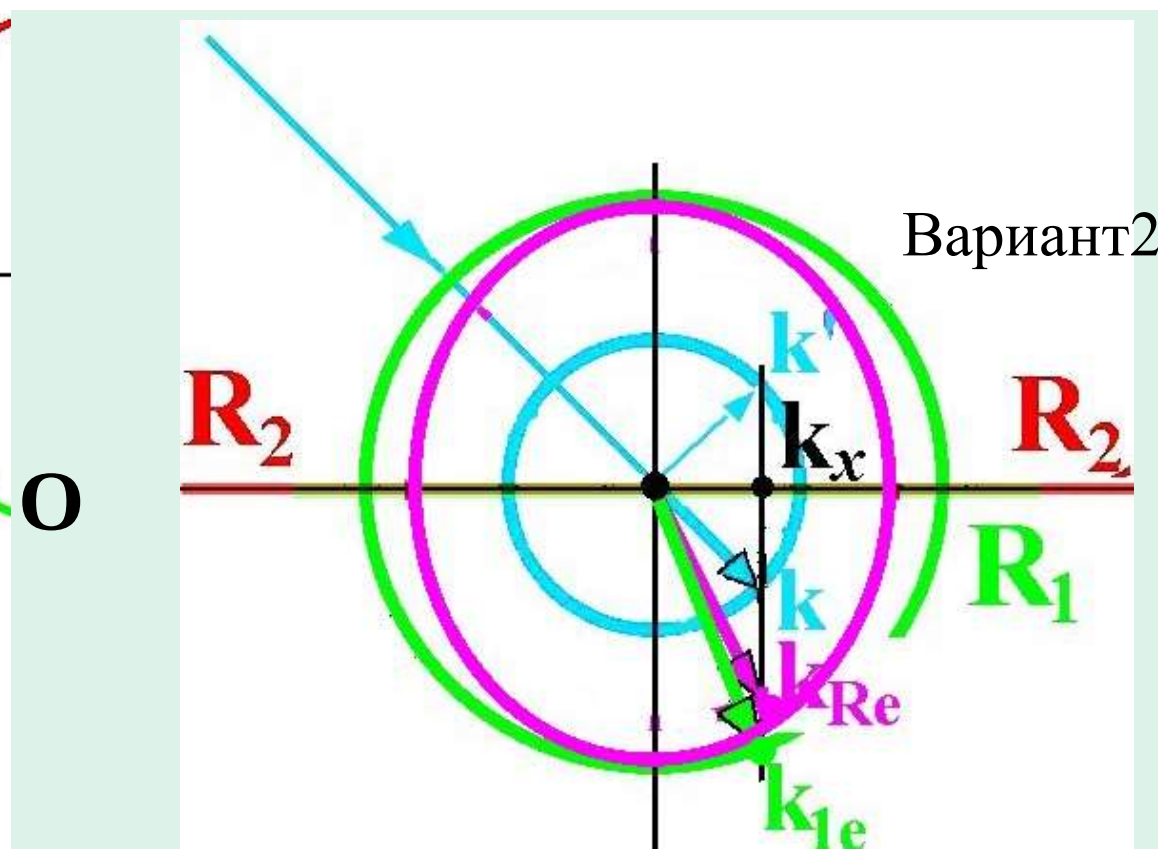
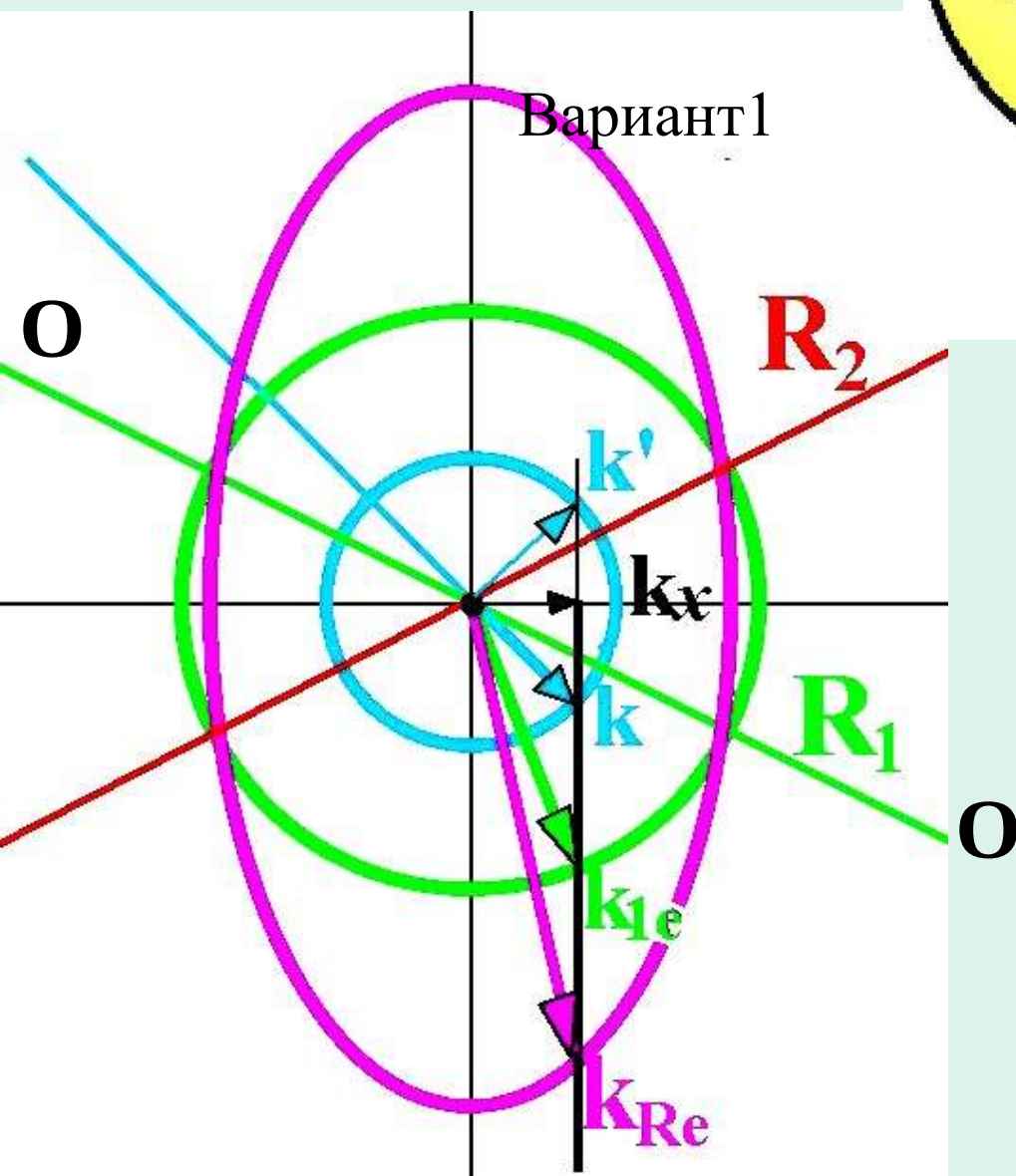
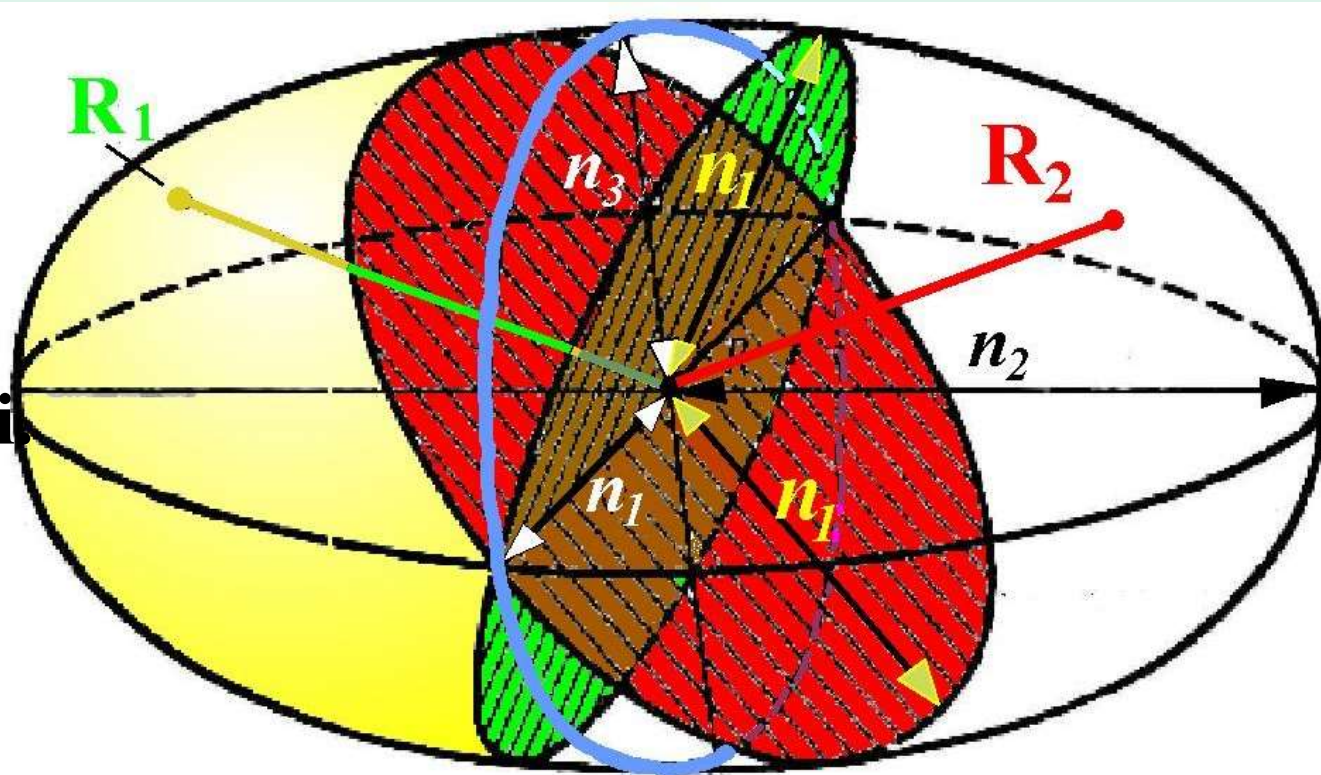
Одноосный отрицательный кристалл

Он және теріс бірості кристалл

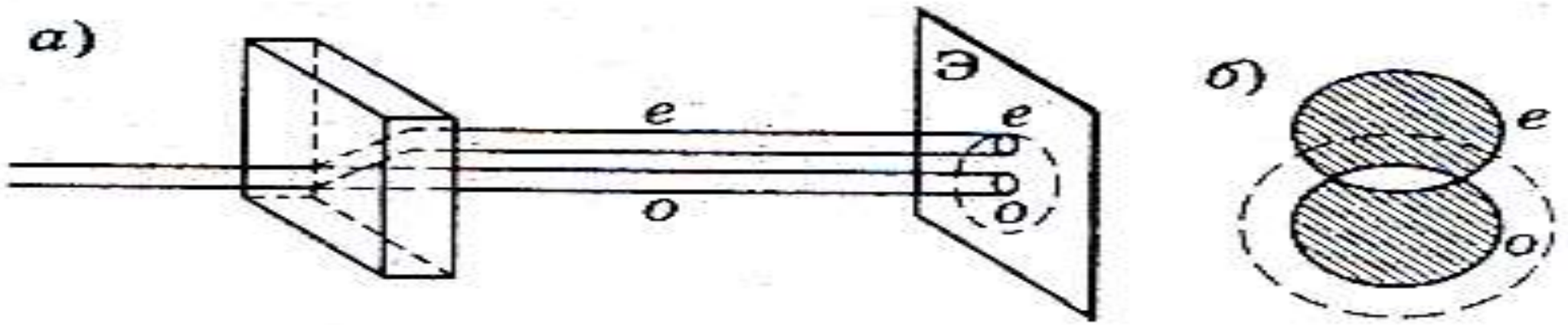
- Направлению обыкновенного луча в эллипсоиде N соответствует колебание вектора D_o и E_o в плоскости круга одинакового радиуса коэффициентов преломления n_o . Направление колебания поля D_e необыкновенного луча лежит в плоскости, в которой расположены нормаль N_e и оптическая ось кристалла X_3 . Коэффициент преломления необыкновенного луча n' численно равен большой полуоси сечения, образованного плоскостью перпендикулярной нормали N_e и волновому вектору k_e . 

Екіөсті кристалл

R_1 және R_2 оптикалық
остер бағыты, себебі осы
бағыттағы толқындық
векторлар екіге бөлінбейді



- Тәжірибе жүзінде сәуленің екеуі де (кәдімгі және өзгеше) әрқашан кристалдың бас жазықтығында жататындығы тағайындалған. Егер қосарлана сындырушы кристалды түсетін сәуле бағытымен дәл келетін остен айналдыра бастаса, онда сынған кәдімгі сәуле қалпын өзгертпейді (өйткені кристалды осылай айналдырғанда түсу бұрышы өзгермейді), ал сынған өзгеше сәуле кристалдың бас жазықтығының бұрылуына ілесіп, орын ауыстыра бастайды (5-сурет). Осы амал сынған сәулелерді кәдімгі және өзгеше сәулелерге ажырату үшін қолданылады. Электрлік вектордың ($\vec{E}$ векторы) тербелістері кәдімгі сәуледе **бас жазықтыққа перпендикуляр**, ал өзгеше сәуледе - **бас жазықтықта параллель** болады (демек, өзгеше сәуленің электрлік векторы оптикалық өспен қайсыбір бұрыштар жасайды).

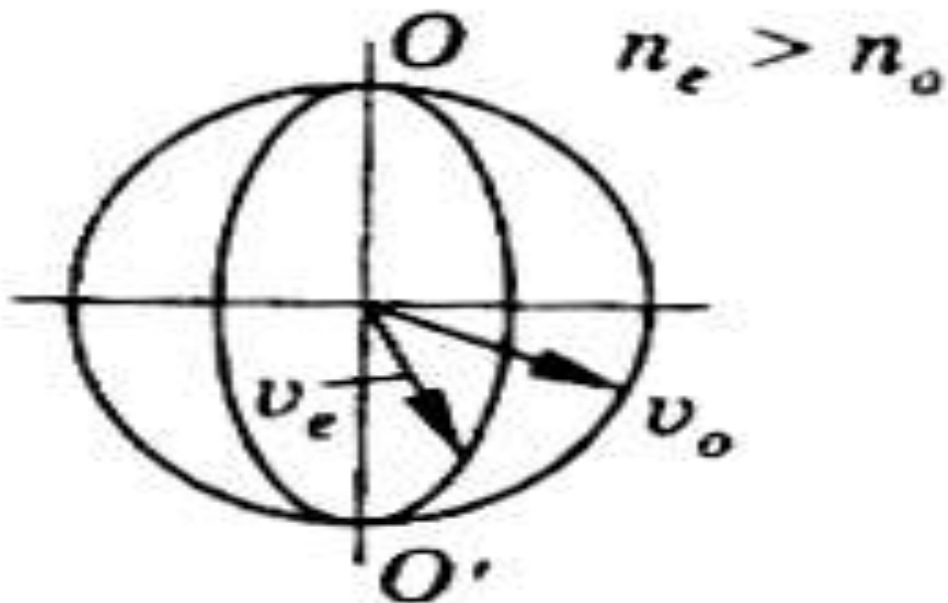


5-сурет

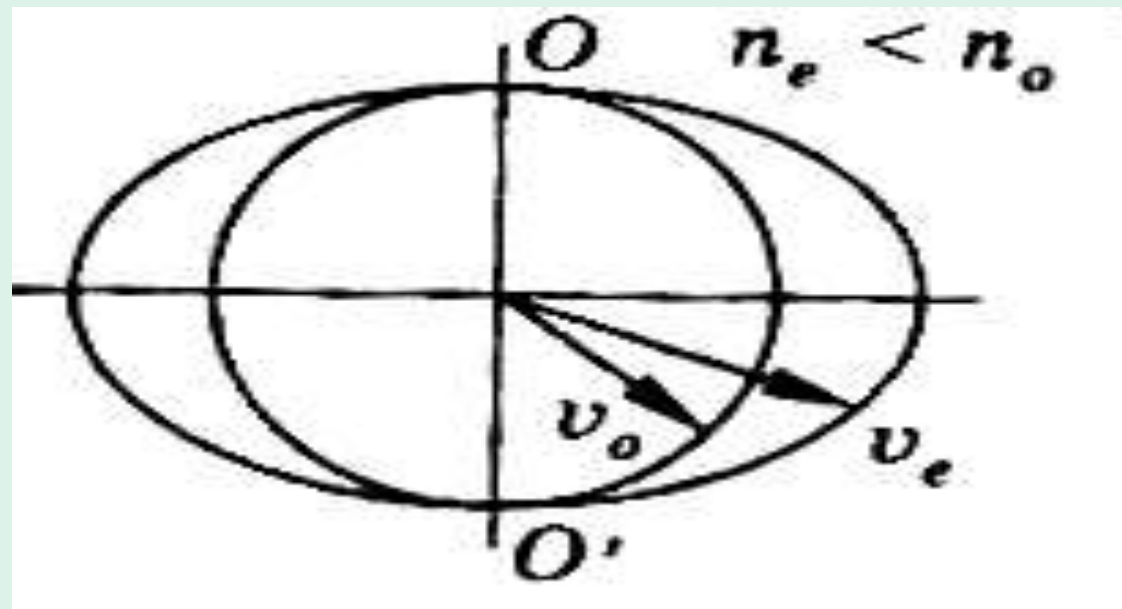
- Сәуленің қосарланып сынуы — кристалдардағы ε диэлектрлік өтімділіктің анизотропты болуының салдары: оптикалық ось бағытында және оған перпендикуляр бағыттарда ε мәні $\varepsilon_{||}$ және $\varepsilon_{\perp}$ әртүрлі болады, ал басқа бағыттарда ε мәндері $\varepsilon_{||}$ және $\varepsilon_{\perp}$ мәндерінің аралығында өзгереді. Сыну көрсеткіші $n = \sqrt{\varepsilon}$
- болатындықтан, $\vec{E}$ векторының бағыты әртүрлі болатын электромагниттік толқындарға сыну көрсеткішінің әртүрлі мәндері сәйкес келеді. Демек, жарық толқындарының жылдамдығы электрлік вектордың тербеліс бағытына тәуелді болады.

- Электрлік вектордың тербелісі кәдімгі сәуленің таралу бағытына тәуелсіз, кристалдың оптикалық осіне перпендикуляр болады, сондықтан кәдімгі сәуле кристалдағы барлық бағыттар бойынша бірдей жылдамдықпен $\nu_0 = c/n_0$ таралады, мұндағы –
- $n_0 = \text{const}$ кәдімгі сәуле үшін кристалдың сыну көрсеткіші. Өзгеше сәуле үшін $\vec{E}$ векторының тербеліс бағыты мен оптикалық ось арасындағы бұрыш тік бұрыштан өзгеше болады және ол сәуле бағытына тәуелді. Сондықтан өзгеше сәуле кристалдағы әртүрлі бағыттар бойынша $\vec{E}$ векторы мен оптикалық ось арасындағы бұрышқа тәуелді жылдамдықпен таралады, мұндағы $n_e \neq \text{const}$ – өзгеше сәуле үшін кристалдың сыну көрсеткіші. **Оптикалық ось бойымен сәуленің екеуі де бірдей жылдамдықпен ($\nu_e = \nu_0 ; n_e = n_0$) таралады.**

- Кристалдың ішіндегі нүктелік жарық көзі жарық толқынын шығарса, кәдімгі және өзгеше сәулелердің кристалда таралуы 6 және 7 суреттерде көрсетілгендей болады (бас жазықтық сурет жазықтығымен дәл келеді; OO' -оптикалық ось бағыты). Кәдімгі сәуленің (ол $\nu_0 = const$ жылдамдықпен таралады) толқындық беті сфера, ал өзгеше сәуленің ($\nu_e \neq const$) толқындық беті айналыс эллипсоиды (суреттерде осы беттердің сурет жазықтығымен қиылысуы келтірілген).



6-сурет



7-сурет

Кәдімгі және өзгеше сәулелердің толқындық беттеріндегі ең үлкен айырмашылық оптикалық оске перпендикуляр бағытта байқалады. Эллипсоид пен сфера бір-біріне OO' оптикалық өспен қиылысу нүктелерінде жанасады. Егер ν_e мәндерінің бәрі ν_0 -ден кіші ($n_e > n_0$) болса, яғни өзгеше сәуленің эллипсоиды кәдімгі сәуле сферасының ішіне сызылған болса (жылдамдықтар эллипсоиды оптикалық оске қатысты созылған болса), **онда бірөсті кристалл** оң деп аталады (6-сурет). Егер $\nu_e > \nu_0$ ($n_e < n_0$) болса, **онда эллипсоид сфераның сыртына сызылған** (жылдамдықтар эллипсоиды оптикалық оске перпендикуляр бағытта берілген) болады және **бірөсті кристалл** теріс деп аталады (7-сурет). Исландия шпаты - теріс кристалл.

Поляризаторлар ретінде поляроидтар да пайдаланылады. Поляроид - күшті іріктей жұту қабілеті бар герпатит кристаликтері жапсырылған пленка. Қалыңдығы шамамен 0,1мм болатын осындай пленка сәулелердің біреуін іріктеп жұтатындығы тағайындалған. Осының нәтижесінде бұл поляризатор бола алады. Поляроидтар арзанға түседі, апертуралық бұрышы 180^0 -қа жақын, оңай дайындалады және мөлшерін үлкен етіп жасауға болады. Исландия шпатынан жасалған призмалармен салыстырғанда поляроидтардың бір кемшілігі бұлардың мөлдірлігі жеткіліксіз және әртүрлі толқын өзындықтарда іріктей жұтатындығы.

Жарықтың эллипстік және дөңгелектік поляризациясы

- Кристалл пластинкадан шыққан жарық толқынының электр векторының ұшы эллипс сызады, демек жарық тербелістерінің траекториясы эллипс болады. Осындай жарық толқындары эллипс бойымен поляризацияланған толқын деп аталады. Бұл құбылыс **эллипстік поляризация** деп аталады.
- Егер $\alpha = \frac{\pi}{4}$ болса, онда бұл пластинкадан шыққан қорытқы жарық толқынының электр векторының ұшы шеңбер бойымен сол толқын таралатын бағытта айналады. Мұндай жарық толқындары шеңбер бойымен поляризацияланған толқын деп аталады. Бұл құбылыс **дөңгелектік поляризация** деп аталады.

Линейно-
поляризованное

Эллиптически-
поляризованное

Поляризованное
по кругу

Эллиптически-
поляризованное

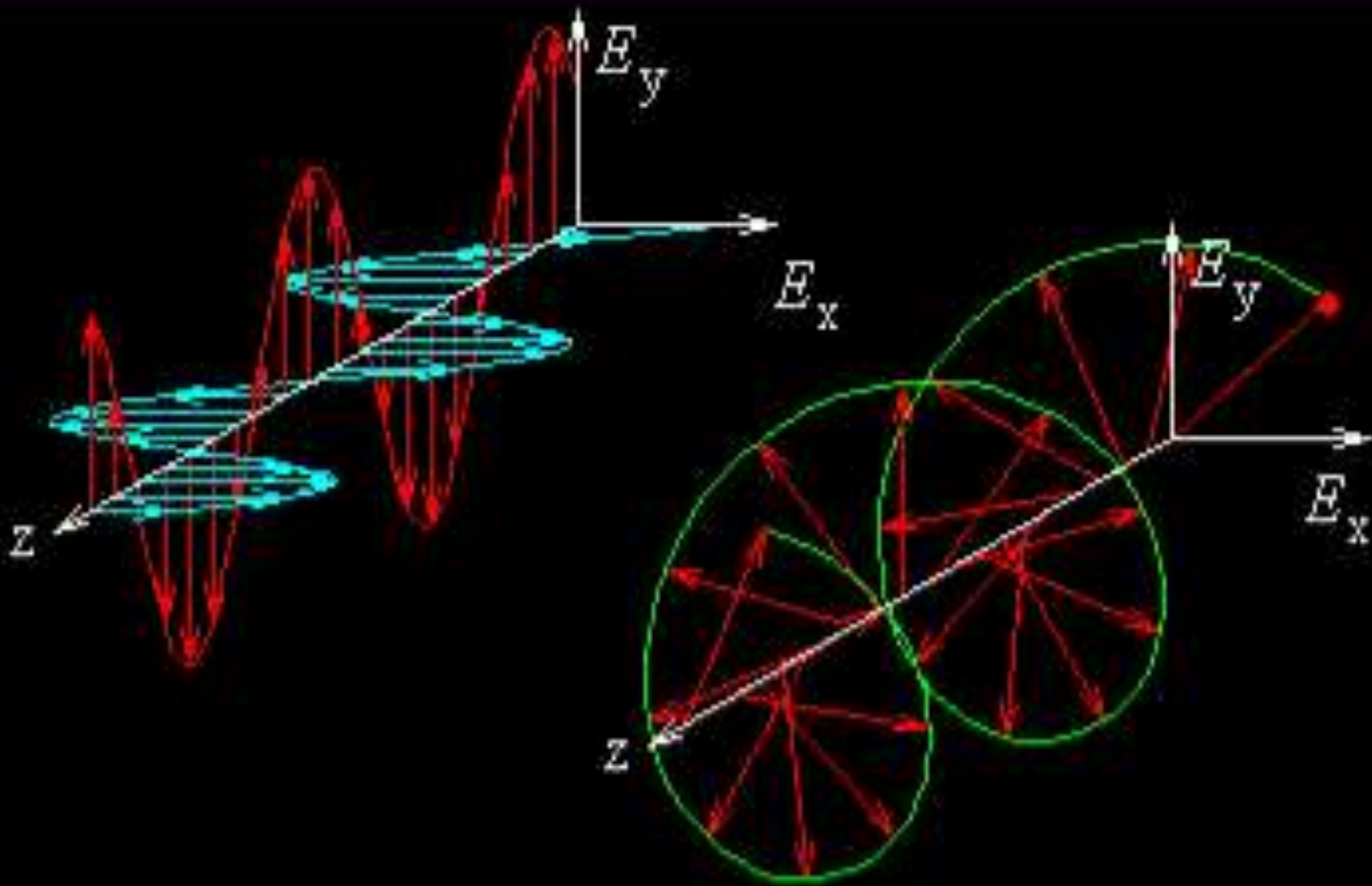
Виды поляризации

Левовращательная

Правовращательная



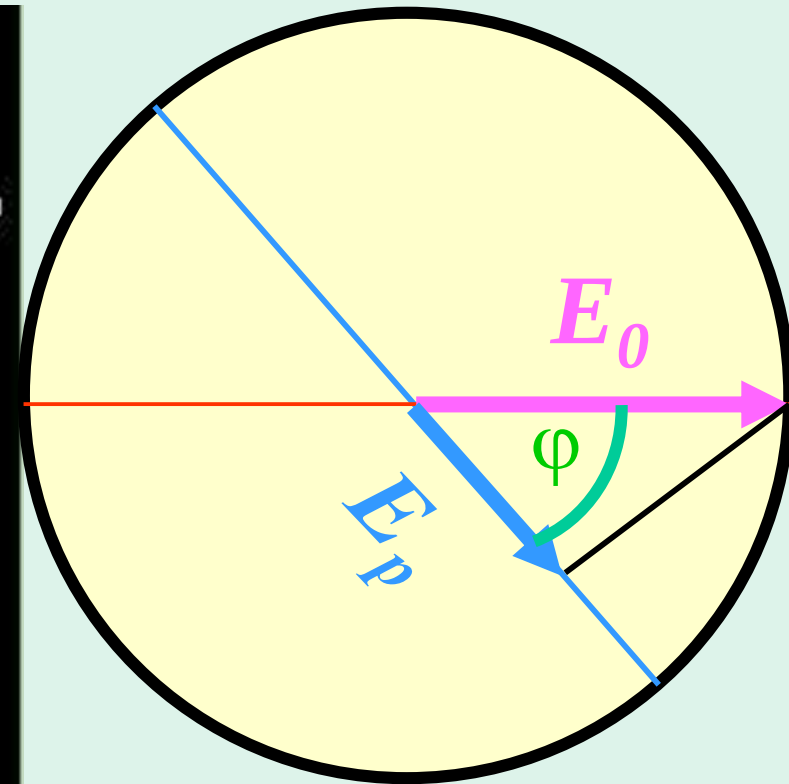
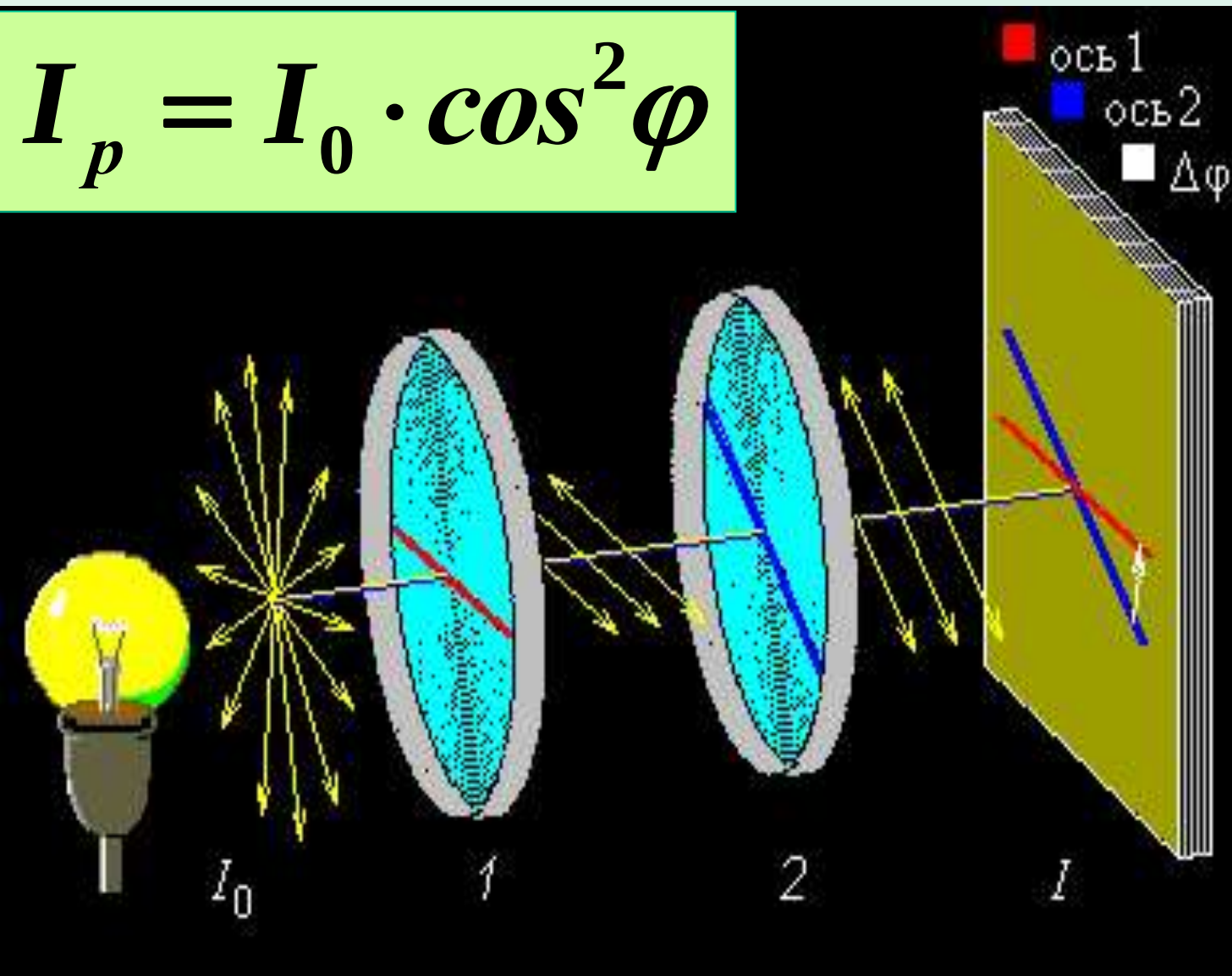
ШЕЇБЕРЛІК ПОЛЯРИЗАЦІЯ



Поляризатор и анализатор

Поляроидная плёнка (поляроид), покрытая слоем текстурированного (ориентированного) герпатита иода и хинина, обладает ярким дихроизмом. Естественный свет, прошедший через первый поляроид (поляризатор), становится линейно поляризованным в плоскости проходящей через ось (1) поляризатора, имея амплитуду E_0 . Через второй поляроид (анализатор) пройдёт поляризованное излучение с амплитудой E_p , являющейся проекцией вектора E_0 на ось (2) анализатора.

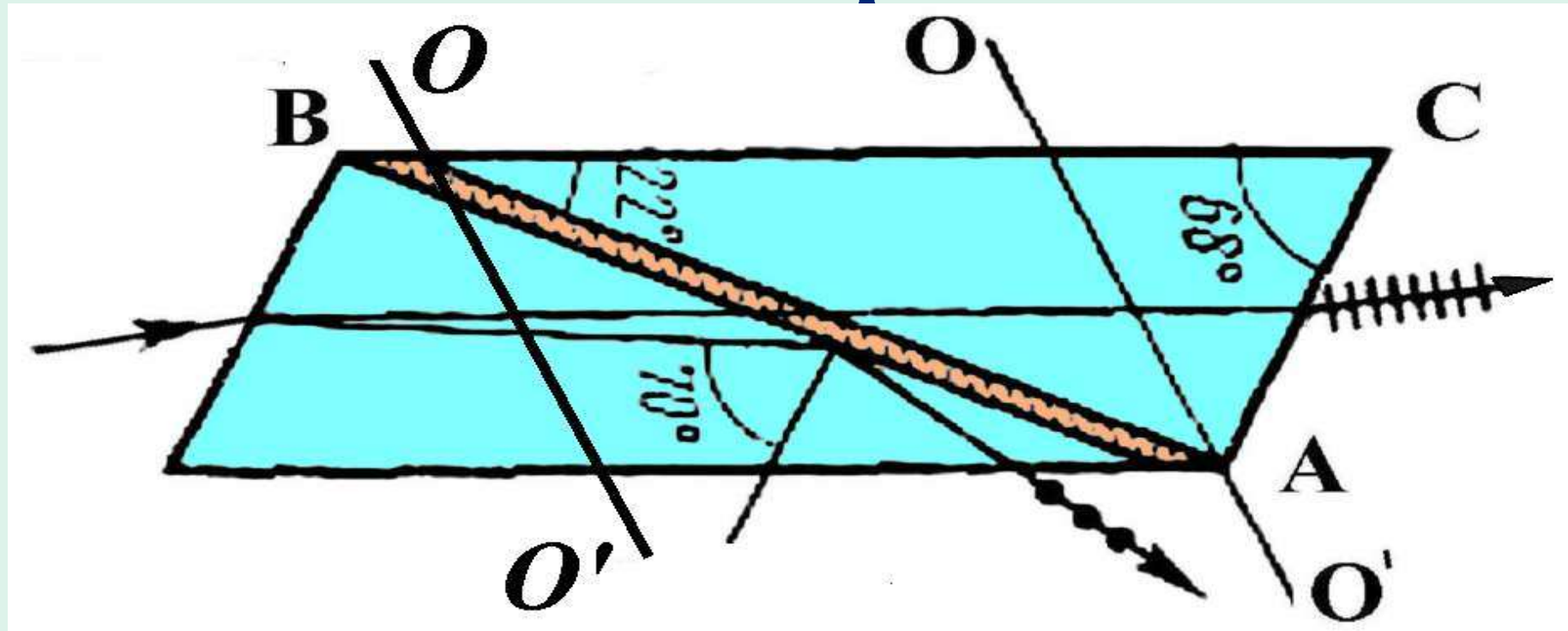
$$I_p = I_0 \cdot \cos^2 \varphi$$



$$E_p = E_0 \cos \varphi$$



Николь призмасы



Жарық исландия кристалына түсіп қосарланып сынғанда пайда болатын кәдімгі сәуле мен өзгеше сәуленің әрқайсысы толық поляризацияланған сәулелер болатындықтан исландия шпатының кристалын әрі поляризатор, әрі анализатор ретінде пайдалануға болады. Осы мақсатпен исландия шпаты кристалынан әр түрлі поляризациялық призмалар жасалынады. Ондай призмалардың бір түрі николь призмасы деп аталады.

Николь призмасының

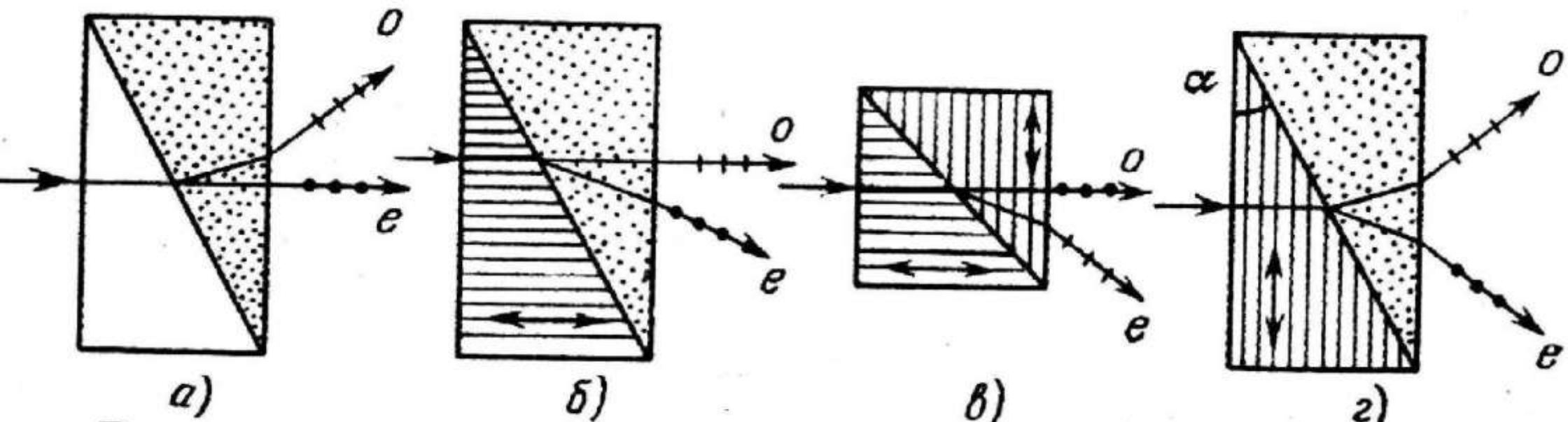
артықшылығы

Николь призмасының артықшылығы, жарық оның ішінде бақылауға кесір ететін өзгерістерге ұшырамайды. Мысалы, түсі өзгермейді.

кемшілігі

- Екі призма жабыстырылған канада бальзамынан ультракүлгін сәулелер өте алмайды, Николь призмасын тек толық поляризацияланған көрінетін жарық алу үшін ғана пайдаланады. Бұл ең басты кемшілігі.

ҚОС СӘУЛЕЛІ ПОЛЯРИЗАЦИЯЛЫҚ ПРИЗМАЛАРДЫҢ ӘР ТҮРЛІ ТИПТЕРІ



Различные типы двулучевых поляризационных призм

- а) СУРЕТТЕ ИСЛАНДИЯ ШПАТЫ ЖӘНЕ ШЫНЫДАН ЖАСАЛҒАН ПРИЗМА
- б) СУРЕТТЕ РОШОН ПРИЗМАСЫ
- в) СУРЕТТЕ ГЛАН-ФУКО ПРИЗМАСЫ
- г) СУРЕТТЕ ВОЛЛАСТАН ПРИЗМАСЫ БЕЙНЕЛЕНГЕН.