

Лекция - 8. Жарық дифракциясы. Көп өлшемді құрылымдағы дифракция. Лауэ, Вульф-Брэггтердің формуласы. Кескінді голографиялық жазудың физикалық әдістерінің негіздері. Голограммалардың техникадағы қолданылуы

Лекцияның мақсаты: Кристалдық тордағы жарық пен рентген сәулелерінің дифракциясын түсіндіру. Лауэ және Брэгг–Вульф формулаларының физикалық мағынасын ашу. Голография әдісінің жұмыс принципі және оның техникадағы қолданылуын қарастыру.

Негізгі сұрақтар

1. Көп өлшемді тордағы дифракция.
2. Лауэ шарттары және үшөлшемді дифракциялық максимумдар.
3. Брэгг–Вульф формуласы және рентген сәулелерінің дифракциясы.
4. Голография принципі және голограмма алу әдісі.
5. Кескінді голографиялық жолмен қалпына келтіру.

Қысқаша мазмұны

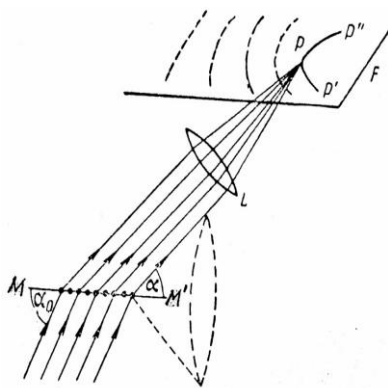
Көп өлшемді тордағы дифракция

Кезкелген пішінді кеңістіктік біртекті еместіктерден дифракциялану – күрделі құбылыс. Мұнда біртекті еместік дұрыс периодтық сипатта болатын, яғни тор деп аталатын құрылым жағдайымен шектелеміз. Бірақ осы периодтылық кеңістіктік сипатта болады, яғни тор үш координата осьтері бойынша периодты (кеңістіктік, немесе үш өлшемді дифракциялық тор). Біртекті еместіктер (дифракциялық элементтер) ретінде шашыратушы центрлер қатарын пайдаланамыз; бұлардың көмегімен бір өлшемді, екі өлшемді немесе үш өлшемді торларды іске асыруға болады. Осы торлардың әрқайсысындағы дифракцияны қарастырайық.

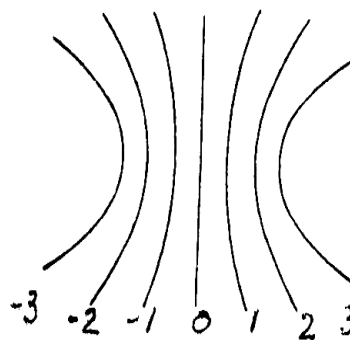
Сызықтық бір өлшемді дифракциялық тор. Бір өлшемді торды MM' түзуінің бойында бір-бірінен d қашықтықта орналасқан бірдей шашыратушы центрлер қатары құрап тұрған болсын (1 сурет). осындай торға Θ бұрышпен сурет жазықтығында жататын параллель когерентті сәулелер шоғы түсетін болсын. Центрдің әртүрлі бағыттарда шашырататын сәулелерінің ішінен, оларда сурет жазықтығында жататын және нормальмен φ бұрыш жасайтын сәулелерді таңдап аламыз.

Көрші сәулелер арасындағы Δ жол айырымы мынаған тең: $\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = d \cos \theta - d \sin \varphi$. Δ жол айырымы толқын ұзындықтардың бүтін санына тең болғанда бас максимумдардың пайда болатындығы белгілі:

$$d(\sin \theta - \sin \varphi) = m_1 \lambda, \quad (1)$$



2 - сурет



3 - сурет

мұндағы $m_1=0,1,2,\dots$. Бұдан кейінгі қарастыруларды оңайлату үшін θ және φ бұрыштарының орнына бұларға қосымша α_0 және α бұрыштарын енгіземіз. Сонда (1) теңдігі мына түрге келеді

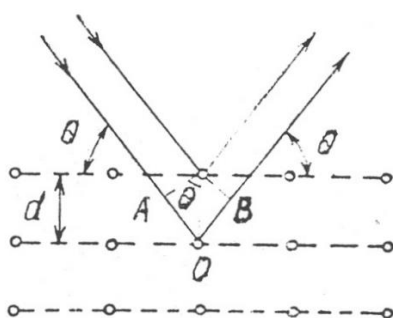
$$d(\cos \alpha_0 - \cos \alpha) = m_1 \lambda \quad (2)$$

Рентген сәулелерінің дифракциясы

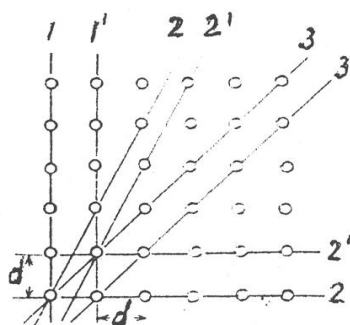
Берілген толқын ұзындығы үшін кристалдық тордан дифракциялану кезінде максимум алынатын бағытты есептеуді Лауэ формулалары негізінде ғана емес, басқа қарапайым тәсілмен де жүргізуге болады. Бұл әдіс кристалдық тордың түйіндерінде орналасқан бөлшектерден дифракцияланған толқындардың интерференциясын қарастыруға негізделген. Тордың түйіндері арқылы бірдей қашықтықтарда орналасқан атомдық қабаттар деп аталатын параллель жазықтықтар қатарын жүргізуге болады. Монохромат рентген сәулелерінің жіңішке шоғы кристалға, оның атомдық жазықтықтарымен θ сырғу бұрышын жасап түсетін болсын (1-сурет). Көршілес екі атомдық жазықтықтардан айналық шағылған толқындар ($1'$ және $2'$ сәулелері) когерентті болатындықтан, бұлар өзара интерференцияланады. Кристалдың торы шағылдырушы дифракциялық тор ролін атқарады. Егер d көрші екі атомдық жазықтықтың ара қашықтығы болса, онда $1'$ және $2'$ толқындадың жол айырымы $\Delta = 2d \sin \theta$ болады (рентген сәулелері үшін барлық орталардың сыну көрсеткіші 1-ге жуық). Δ жол айырымы λ толқын ұзындығына еселі болатын бағыттарда осы толқындар бірін-бірі күшейтеді. Сондықтан Фраунгофер максимумдары пайда болатын бағыттар үшін шартты былай жазуға болады:

$$2d \sin \theta = m \lambda \quad (1)$$

мұндағы $m = \pm 1, \pm 2, \dots$ - максимум реті. (1) теңдеуі Брегг-Вульф формуласы деп аталады.



1- сурет



2-сурет

Шындығында рентген сәулелері кристалдағы көптеген атомдық жазықтықтардан шағылады, яғни өзара екі шоқ емес, шоқтардың көп саны интерференцияланады. Осының нәтижесінде (көп жарық шоқтарының интерференциялану жағдайы сияқты) максимумдар айқынырақ бола түседі. Брегг-Вульф шартын қорытып шығарғанда кристалдың табиғи шоқтарына параллель атомдық жазықтықтардан шағылған рентген сәулелері қарастырылды. Әрине дәл осылайша рентген сәулелерінің атомдық жазықтықтардың басқа жүйелерінен, мысалы, кристалдың элементар кубтарының диагональдары арқылы жүргізілген жазықтықтардан шағылуын да қарастыруға болады. Жалпы кристалда әртүрлі бағыттарда атомдық жазықтықтардың көптеген жүйелерін жүргізуге болады (1-сурет).

Жазықтықтар жүйесінің әрқайсысы егер (1) шарты орындалатын болса, дифракциялық максимумды бере алады. Бірақ бұлардың әрқайсысы үшін d әртүрлі болады. Ескеретін нәрсе Лауэ формулалары бойынша және Брэгг-Вульф формуласы бойынша есептеу бірдей нәтиже береді. Бірақ Брэгг-Вульф әдісінің өзінше маңызы зор, өйткені бұл әдіс рентген сәулелерінің спектроскопиясы (рентген сәулелерінің спектрлік құрамын зерттеу) және рентгенқұрылымдық талдау (кристалдардың құрылымын зерттеу) негізі болып табылады.

Голография. Жарық өрісін жазып алу және оны қалпына келтіру

Кәдімгі фотографияда фотопластинкаға жарық өрісі жайындағы ақпараттың бір бөлігі, атап айтқанда, жарық интенсивтігінің кеңістіктік үлестірілуі тіркеледі. Ал оптика үшін маңызды болатын өріс фазасының кеңістіктік үлестірілуі жайындағы ақпарат толығынан жоғалады.

Осыған байланысты жарық өрісін жазып алу процесін амплитуда жайында да, фаза жайында да ақпарат сақталатындай етіп құруға болмас па екен? –деген сұрақ туады. Мұндай мүмкіндік бар екен. Толқындық өрістерді жазып алудың осындай амалы *голография* деп аталады.

Бақылау сұрақтары

1. Көп өлшемді дифракциялық торлар қалай анықталады?
2. Лауэ шарттарының физикалық мағынасы неде?
3. Брэгг–Вульф формуласын жазып, оның қолданылу аясын түсіндіріңіз.
4. Голограмма қалай алынады және қандай толқындар интерференцияланады?
5. Голография әдісінің дәстүрлі фотографиядан артықшылығы қандай?

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

Жарық дифракциясы

Жарық дифракциясы. Көп өлшемді құрылымдағы дифракция. Лауэ, Вульф-Брэггтердің формуласы.

Кескінді голографиялық жазудың физикалық әдістерінің негіздері. Голограммалардың техникадағы қолданылуы

Оқытушы: Мархабаева А.А

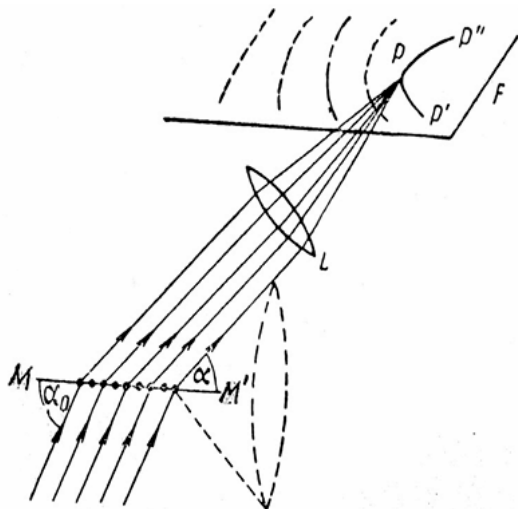
Көп өлшемді тордағы дифракция

Кезкелген пішінді кеңістіктік біртекті еместіктерден дифракциялану – күрделі құбылыс. Мұнда біртекті еместік дұрыс периодтық сипатта болатын, яғни тор деп аталатын құрылым жағдайымен шектелеміз. Бірақ осы периодтылық кеңістіктік сипатта болады, яғни тор үш координата осьтері бойынша периодты (кеңістіктік, немесе үш өлшемді дифракциялық тор). Біртекті еместіктер (дифракциялық элементтер) ретінде шашыратушы центрлер қатарын пайдаланамыз; бұлардың көмегімен бір өлшемді, екі өлшемді немесе үш өлшемді торларды іске асыруға болады. Осы торлардың әрқайсысындағы дифракцияны қарастырайық.

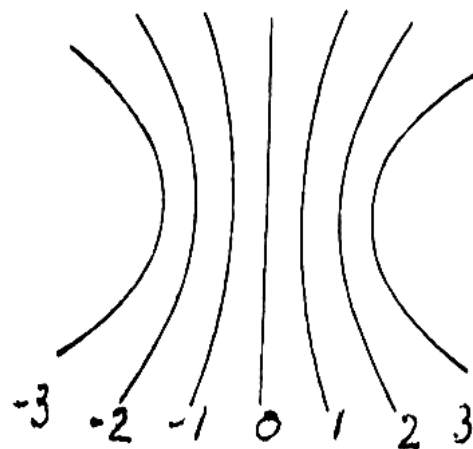
Сызықтық бір өлшемді дифракциялық тор. Бір өлшемді торды MM' түзуінің бойында бір-бірінен d қашықтықта орналасқан бірдей шашыратушы центрлер қатары құрап тұрған болсын (1 сурет). осындай торға Θ бұрышпен сурет жазықтығында жататын параллель когерентті сәулелер шоғы түсетін болсын. Центрдің әртүрлі бағыттарда шашырататын сәулелерінің ішінен, оларда сурет жазықтығында жататын және нормальмен φ бұрыш жасайтын сәулелерді таңдап аламыз.

Көрші сәулелер арасындағы Δ жол айырымы мынаған тең: $\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = d \cos \theta - d \sin \varphi$. Δ жол айырымы толқын ұзындықтардың бүтін санына тең болғанда бас максимумдардың пайда болатындығы белгілі:

$$d(\sin \theta - \sin \varphi) = m_1 \lambda, \quad (1)$$



2 - сурет



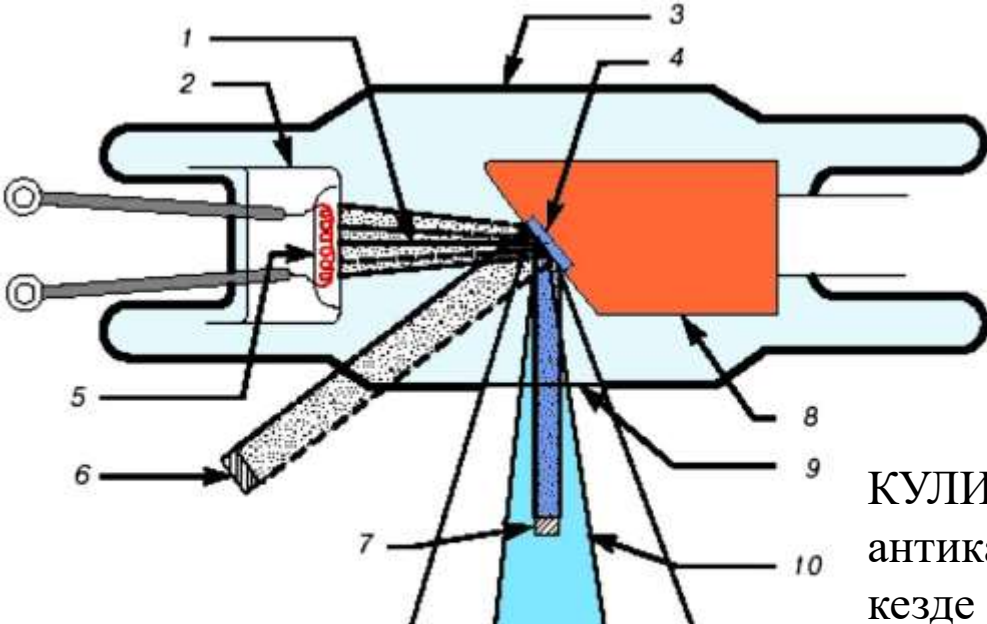
3 - сурет

Рентген сәулелерінің дифракциясы

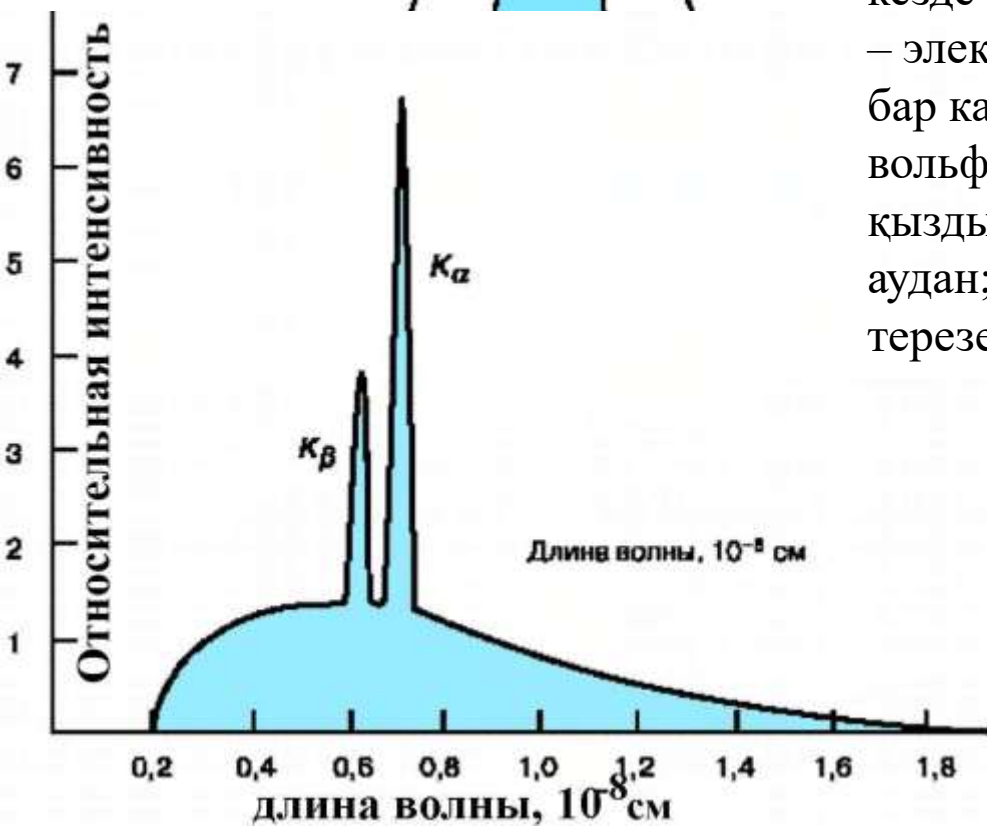
Рентген сәулесі ашылғаннан (1895) кейін көп кешікпей ол көрінетін жарықпен салыстырғанда толқын ұзындығы едәуір кіші электромагниттік толқын деген жорамал жасалды. Бұл жорамал Лауэ рентген сәулесінің дифракциясын дифракциялық тор ретінде кристалдардың табиғи кеңістіктік торын пайдаланып бақылауға болады деген идеясын ұсынған 1912 ж. дейін расталмаған күйінде қалып келеді. Кристалдағы атомдар мен молекулалар дұрыс үш өлшемді тор құрастырып орналасады, және осындай торлардың периодтары рентген сәулесінің толқын ұзындығымен шамалас болады. Егер осы кристалға рентген сәулесінің шоғы түсірілсе, онда кристалдық торды құрайтын әрбір атом немесе атомдар тобы рентгендік толқындардың шашырататын болады. Шашыраған толқындар когерентті, өйткені бұлардың бәрі түсетін бір толқынмен қоздырылады. Осы толқындар өзара интерференцияланып белгілі бағыттар бойынша максимумдарлы берелі.

Рентген сәулесінің көзі

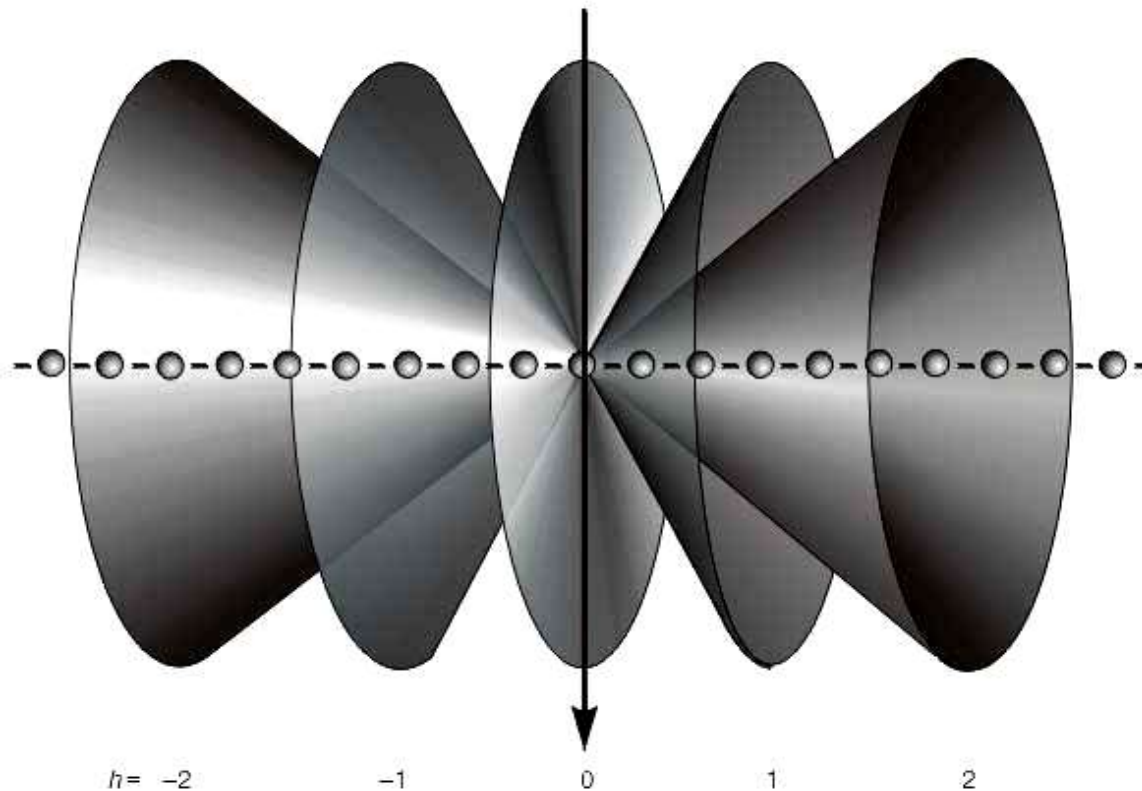
Рентген сәулеленуі— толқын ұзындығы 10^{-9} м электромагниттік сәуле



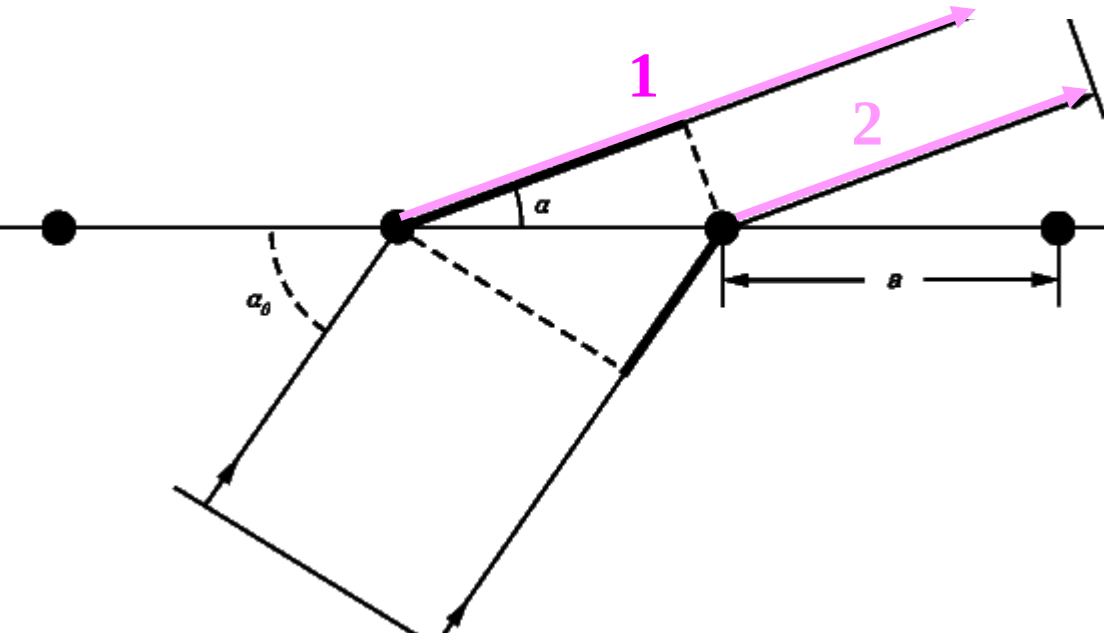
КУЛИДЖ РЕНТГЕН ТҮТІГІ. Вольфрам антикатоды электрондармен бомбардирленген кезде сипаттамалық рентген сәулесін шығарады. 1 – электрондық шоғыр; 2 – фокустаушы электроды бар катод; 3 – шыны қабықша (түтінше); 4 – вольфрам нысанасы (антикатод); 5 – катодтың қыздыру жібі; 6 – шын мәнінде сәулеленетін аудан; 7 – тиімді фокалдық дақ; 8 – мыс аноды; 9 – терезе; 10 – шашыраған рентген сәулеленуі.



Атомдардағы дифракция



Кристалл атомдарының электрон қабықшалары рентген сәулесімен қоздырылады және барлық бағытта электромагниттік энергияны қайта сәулелендіреді. Алайда көпсәулелі интерференция максимумы қалыптасуы үшін тек кейбір бағыттарда ғана қажетті шарттар орындалады. Соседті 1 және 2 сәулелердің жол айырымы:

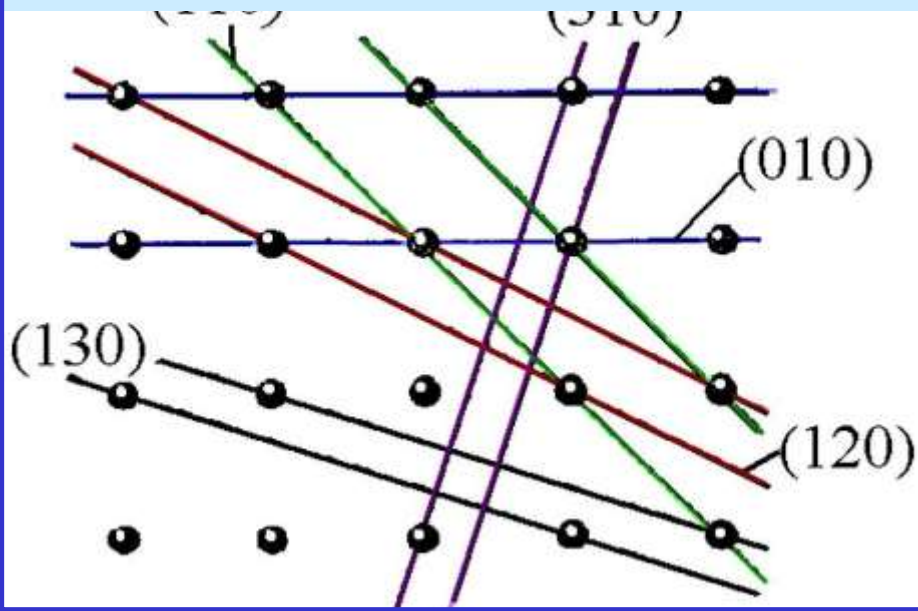


$\Delta = n \lambda$ болуы тиіс (мұндағы n – бүтін сан, λ – толқын ұзындығы). Сызықтық атомдар тізбегі осындай шарт орындалатын бағыттарда конус беттерін бойлай дифракция максимумдарын түзеді.



Другая трактовка

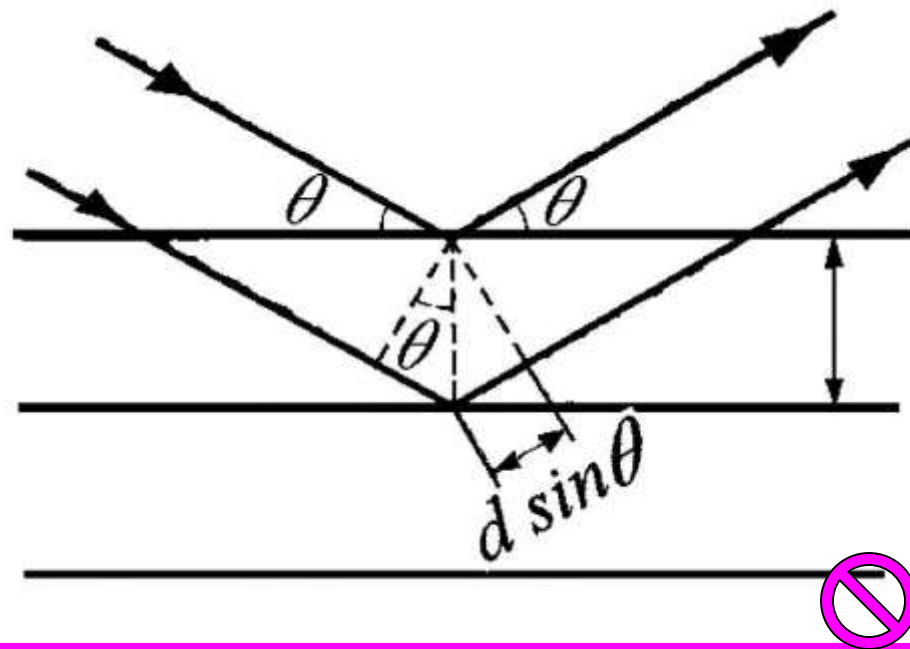
Шындығында рентген сәулелері кристалдағы көптеген атомдық жазықтықтардан шағылады, яғни өзара екі шоқ емес, шоқтардың көп саны интерференцияланады. Осының нәтижесінде (көп жарық шоқтарының интерференциялану жағдайы сияқты) максимумдар айқынырақ бола түседі. Брегг-Вульф шартын қорытып шығарғанда кристалдың табиғи шоқтарына параллель атомдық жазықтықтардан шағылған рентген сәулелері қарастырылды.



Брег – Вульф заңы

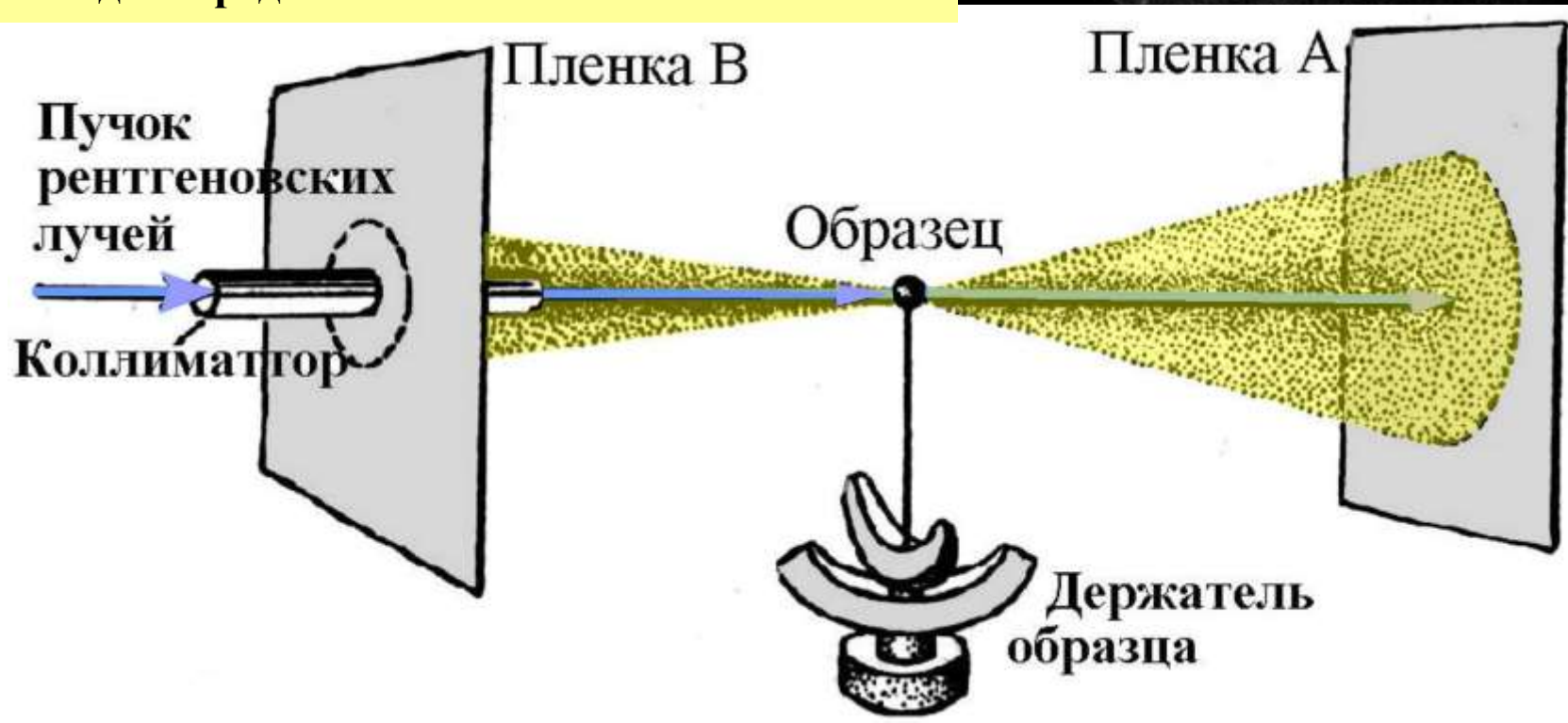
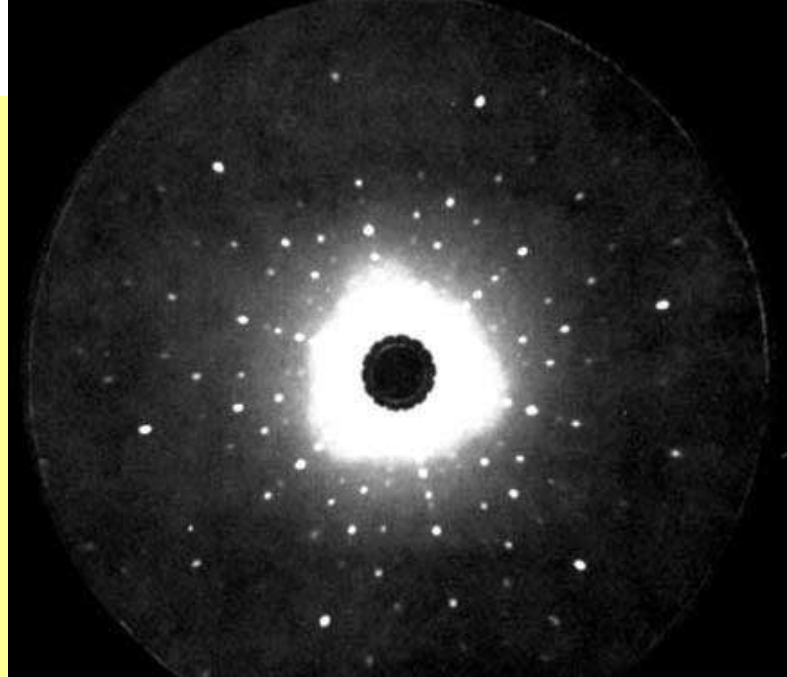
Көрші атомдық жазықтықтардан шағылған сәулелер интерференция кезінде күшейеді, егер олардың жол айырымы $2 d \sin \theta$. (θ — бұрышы)

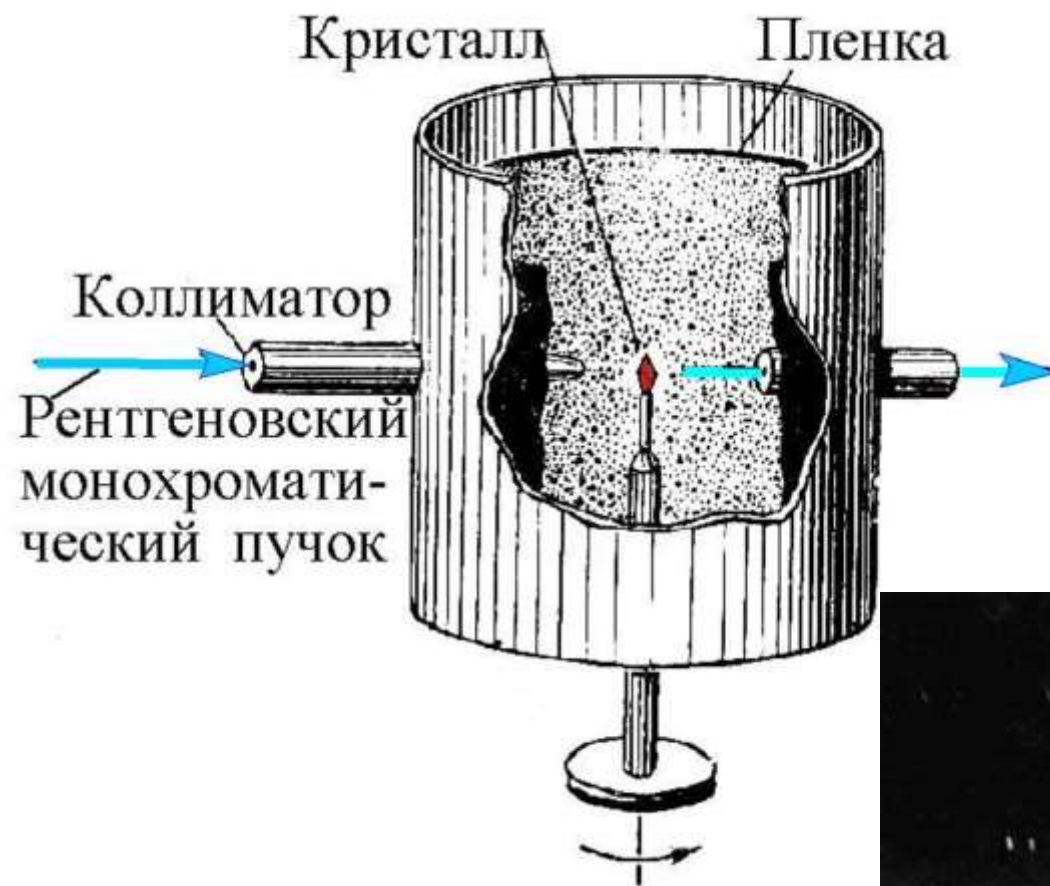
$$2 \cdot d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda$$



Лауэ әдісі.

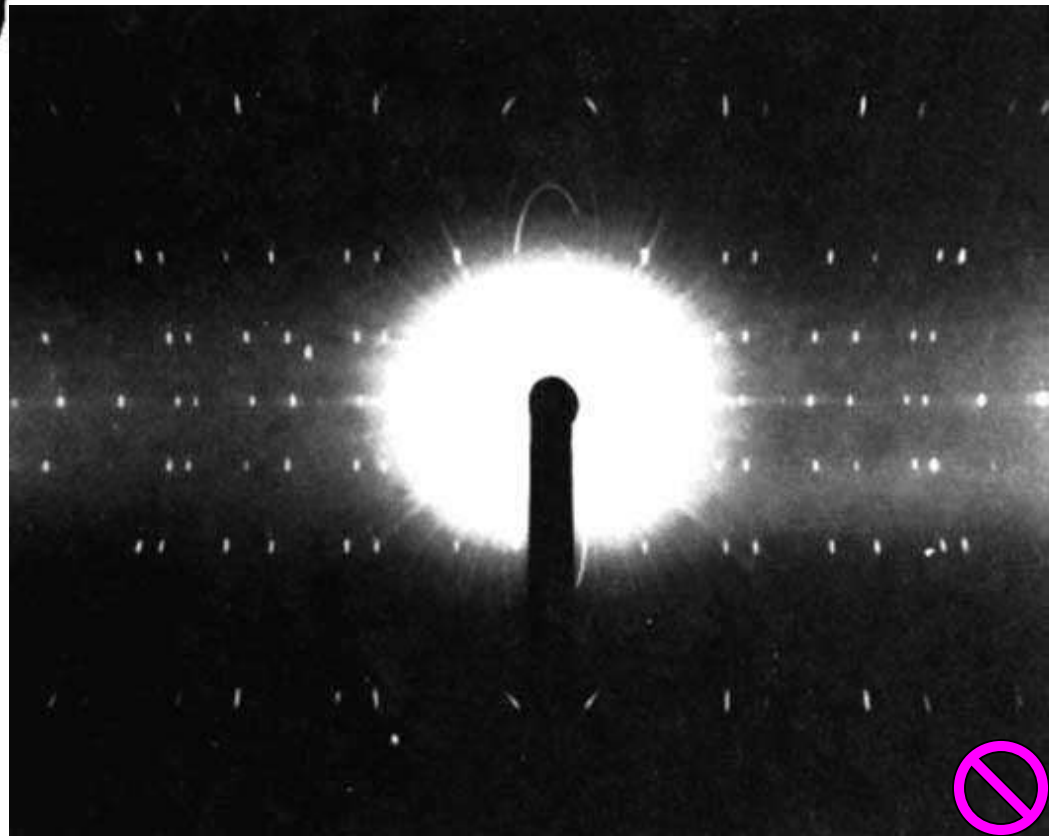
Тұтас спектрлі (барлық толқын ұзындықтары бар) рентген сәулелерінің жіңішке шоғы қозғалмай бекітілген монокристалл үлгісіне бағытталады. Алынатын дифракциялық картина кристалл параметрлерін анықтайтын рефлекстер сериясынан тұрады. Бұл әдіс кристаллдың симметриясы, кеңістіктік ориентациясы және ондағы ақаулардың болуы туралы маңызды қорытындылар жасауға мүмкіндік береді.



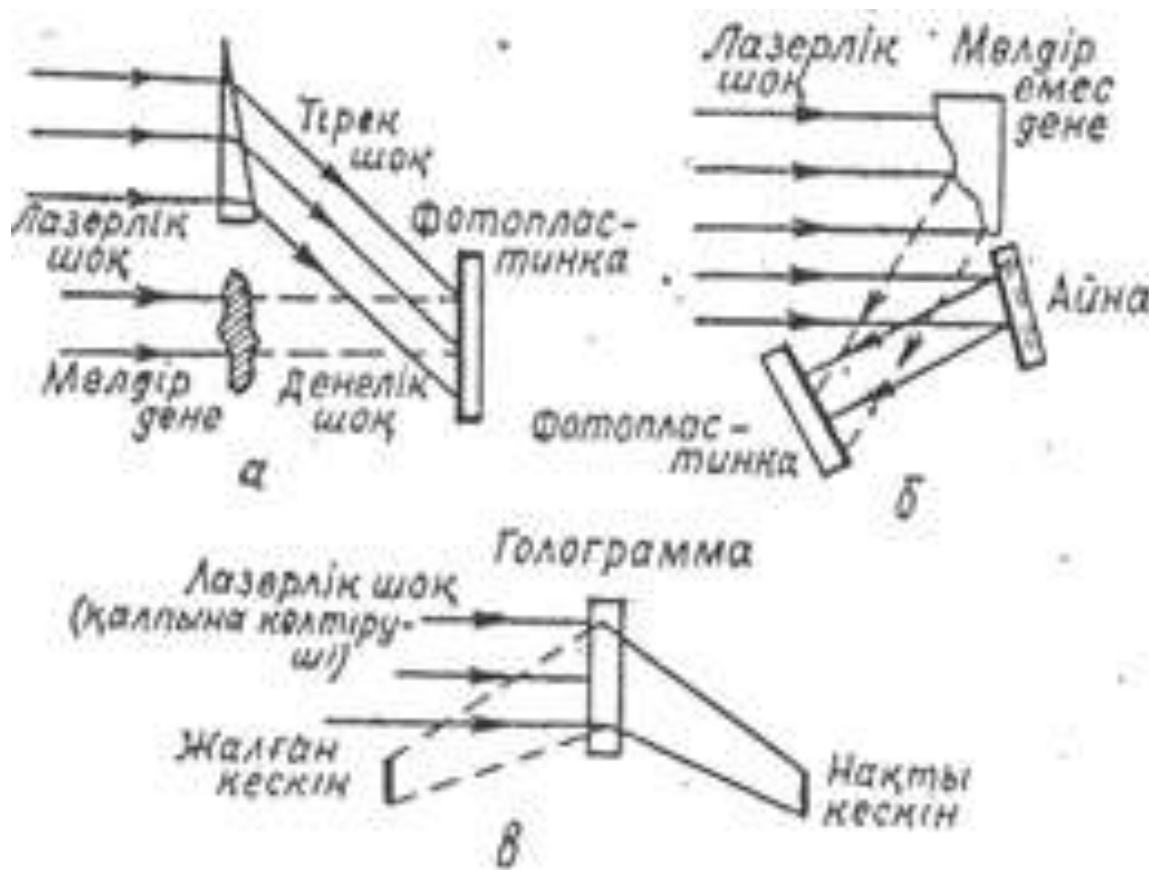


Кристаллға монохроматты рентген сәулесінің шоғы түседі. Кристалл Лауэ шарттары орындалатын негізгі осьтің төңірегінде айналады. Осы кезде Брэгг–Вульф формуласына кіретін θ бұрышы (скольжение бұрышы) өзгереді.

Метод
вращающегося
кристалла



Голография. Жарық өрісін жазып алу және оны қалпына келтіру



3-сурет