

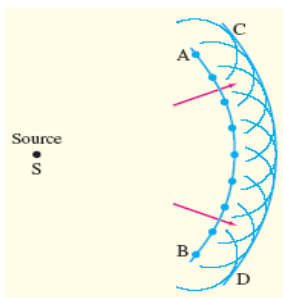
2-10-МАЗЗУ: ЁРУҒЛИК ДИФРАКЦИЯСИ. РЕНТГЕН НУРЛАР ДИФРАКЦИЯСИ.

Режа:

1. Ёруғлик дифракцияси. Гюйгенс–Френель принципи.
2. Френель зоналари. Френель дифракцияси.
3. Фраунгофер дифракцияси. Дифракцион панжара.
4. Рентген нурлар дифракцияси. Вульф-Брегг формуласи.

Тўлқинларнинг ўз йўлида учраган тўсиқларни айланиб ўтиши ёки бошқача айтганда геометрик оптика қонунларга бўйсунмасдан тарқалиш ҳодисасига *дифракция* дейилади. Дифракция туфайли тўлқинлар геометрик соялар соҳасига ўтиб қолиши, тўсиқларни четлаб ўтиши ёки экрандаги кичкина тирқишлардан сизиб ўтиши мумкин.

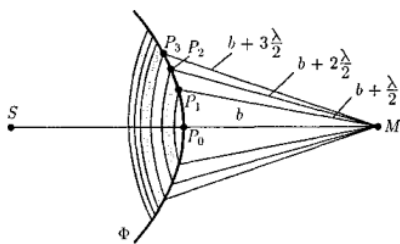
Немис олими Кристиан Гюйгенс (1629–1695) Нютоннинг замондоши бўлиб, ёруғликка тўлқин назарияси кўпроқ тўғри келишини тушунтирган. Гюйгенс назарияси тўлқин фронтининг боши қардалиги аниқланса, тўлқин фронти қардан ўтишини кўрсатади. Тўлқин фронти деб биз икки ёки уч ўлчамли тўлқиннинг чўққисини назарда тутамиз. Гюйгенс принципи: Ёруғлик фронтидаги ҳар бир нуқта иккиламчи тўлқин манбаси деб қаралиши мумкин. Гюйгенс принципига мисол қилиб 10.1-расмдаги S манбадан чиққан АВ тўлқинни кўрсатишимиз мумкин.



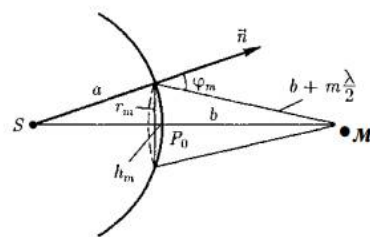
10.1-расм

Френель зоналари. Френель дифракцияси. Монохроматик ёруғлик манбадан чиқаётган ёруғлик тўлқинини фазонинг ихтиёрий M нуқтасидаги амплитудасини ҳисоблаймиз. Ф тўлқин фронти зоналарга бўлинади (10.2-расм). Бу ерда қуйидаги шарт бажрилиши керак: $P_1M - P_0M = P_2M - P_1M = \dots = P_nM - P_{n-1}M = \lambda/2$. M нуқтага етиб келган тўлқинлар тескари фазада булганлиги сабабли натижавий амплитуда: $A = A_1/2$ (1). m- зонанинг радиуси:

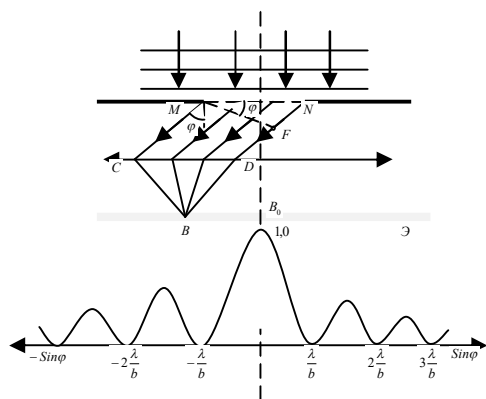
$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b}} m \lambda$; (2) дан ҳисобланади (10.3-расм). Манбадан тарқалаётган ёруғлик йўлида айланасимон тирқиш бўлсин. Дифракцион манзара Френель зоналарини сонига боғлиқ, натижавий амплитуда: $A = A_1/2 \pm A_m/2$ (3). Агар сферик тўлқин йўлида диск бўлса ва диск m зоналарни ёпса: $A = A_{m+1}/2$ (4).



10.2-расм



10.3-расм



10.4-расм

тарқайтган MC ва ND нурларнинг йўл фарқи қуйидагига тенг.

Фраунгофер дифракцияси. Немис физиги И.Фраунгофер (1787-1826) параллел нурларнинг дифракциясини кўриб чиқди, бунда дифракцион манзара тўсиқдан чексиз узоқликда жойлашган нуқтада кузатилади. Бундай дифракцияни кузатиш учун ёруғлик манбаини линзанинг фокусига ва экранни тўсиқдан кейин ўрнатилган линзанинг фокал текислигига жойлаштириш керак. Тирқишда Фраунгофер дифракцияси. Кенглиги $MN = b$ бўлган тирқишга перпендикуляр йўналишда монохроматик ёруғлик тушаяпти деб ҳисоблайлик (10.4-расм). Тирқишнинг икки четидан ϕ бурчак остида

$$\Delta = NF = b \sin \varphi \quad (5)$$

MN тиркишни полосаларга (зоналарга) бўламиз. Бу зоналарнинг кенглиги шундай олинадик, уларнинг четларидан тарқатган нурларнинг йўл фарқи $\frac{\lambda}{2}$ га тенг бўлиши керак, бошқача айтганда тиркиш кенлигида ($\Delta: \frac{\lambda}{2}$) та зона бўлади. Тушаётган ёруғлик фронти тиркиш текислигига параллел бўлгани учун иккиламчи нурларнинг ҳам фазалари ва амплитудалари бир хил бўлади.

(5) дан кўриниб турибдики, зоналар сони бурчак φ га боғлиқ. Зоналар сонига эса иккиламчи тўлқинларнинг интерференция натижаси боғлиқ. Қўшни икки зонадан келган иккиламчи тўлқинлар бир-бирини сусайтиради (йўл фарқи $\frac{\lambda}{2}$ га тенг бўлганлиги учун). Демак Френель зоналарининг сони жуфт бўлса ёки:

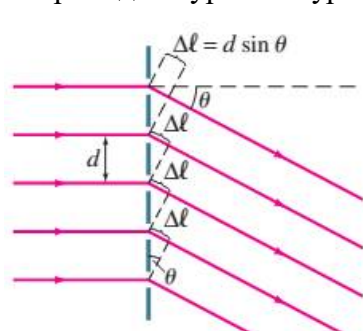
$$b \sin \varphi = \pm (2m) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (6)$$

бўлса, В нуктада дифракцион минимум кузатилади. Агар зоналар сони тоқ бўлса, В нуктада дифракцион максимум кузатилади:

$$b \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (7)$$

$\varphi = 0$ йўналишда тиркиш битта Френель зонасидек ишлайди, шунинг учун B_0 нуктасида марказий дифракцион максимум кузатилади. Максимумлар жойлашган жой φ га боғлиқ. Шунинг учун 10.4-рasm чизилган манзара монохроматик нур учун чизилган. Оқ нурда четдаги максимумлар рангли бўлади.

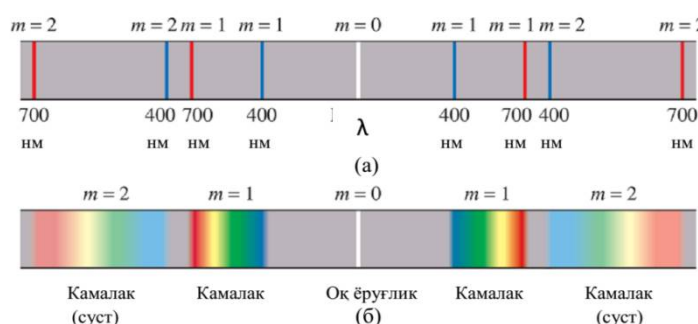
Дифракцион панжара. Тенг интерваллардан иборат кўп сонли параллел тиркишлар дифракцион панжара дейилади. 10.5-рasmда ёруғликнинг параллел нурлари панжара бўйлаб тушаётганини кўришимиз мумкин. Тиркишлар етарлича тор жойлашган бўлиб, ҳар бирининг орасидаги диффракция ёруғлик нурини панжарадан узоқдаги экранга катта бурчак орқали ёйилишига имкон беради, ва бошқа ҳамма тиркишлардан ўтадиган ёруғлик нури билан интерференция пайдо бўлиши мумкин. Ҳар бир тиркишдан ҳар қандай оғишларсиз ($\theta = 0$) ўтадиган ёруғлик нурлари экраннинг марказида максимум ёркинликни амалга ошириш учун қучаювчи (конструктив) тарзда кесишади. Конструктив интерференция шундай θ бурчаги остида ҳам пайдо бўлиши мумкинки, унда қўшни тиркишлардан ўтадиган нурлар қўшимча масофа $\Delta \ell = m\lambda$ ни босиб ўтади, m бутун сондир. Агар d тиркишлар орасидаги масофа бўлса, 10.5-рasmдан кўриниб турганидек $\Delta \ell = d \sin \theta$ га тенг ва



$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{d}, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad [\text{дифракцион панжаранинг асосий максимуми}] \quad (8)$$

Фараз қилинг, диффракция панжарасига урилатган нур монохроматик (фақатгина бир рангдан иборат) эмас, балки икки ва ундан ортиқ турли тўлқин узунликларидан иборат. $m = 0$ тартибдан фарқли бошқа тартиблар учун ҳар бир тўлқин узунлиги турли хил бурчак остида максимум ишлаб чиқаради.

10.5-рasm

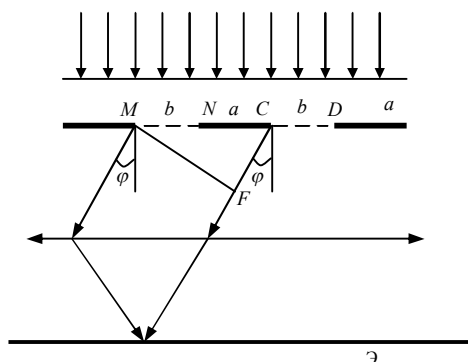


10.6-рasm Дифракцион панжарада спектрларга ажратилган ёруғлик: (а) 400 ва 700 нм ли иккита тўлқин узунликлар; (б) Оқ ёруғлик.

Биринчи тартибли интерференцияга нисбатан иккинчи тартиблиси интенсивлиги сустроқ (10.6-рasm, бу ерда юқори тартиблар кўрсатилмаган).

Агар оқ ёруғлик панжарага тушса, марказий максимум ($m=0$) кескин оқ чизик бўлади. Бирок бошқа барча тартиблар учун дифракцион панжара ёруғликни тўлқин узунликлар компоненталарга ажратади, натижада спектр ҳосил бўлади.

Дифракцион панжарада Фраунгофер дифракцияси. Панжарада кузатиладиган дифракцион манзара ҳамма тиркишлардан келадиган когерент тўлқинларнинг ўзаро интерференцияси натижасида ҳосил бўлади.



10.7-расм

Мисол тариқасида икки тиркишдан (MC ва ND) иборат дифракцион панжарадаги параллел нурлар дифракциясини кўриб чиқамиз (10.7-расм). Тиркиш кенглиги b тиркишлар орасидаги ношаффоф қисм кенглиги a , $d = a + b$ катталикини дифракцион панжаранинг доимийси (даври) деб аталади. Тиркишлар бир-биридан бир хил масофада жойлашганлари учун қўшни тиркишлардан тарқатган нурларнинг йўл фарқи:

$$\Delta = CF = (a + b)\sin\varphi = d\sin\varphi \quad (9)$$

Ҳар битта тиркишнинг бераётган минимуми бир хил жойда бўлади, тиркишнинг ўз-ўзига параллел силжиши бунга таъсир қилмайди:

$$b\sin\varphi = \pm m\lambda \quad (10)$$

Бундан ташқари, икки тиркишдан келатган нурлар қўшимча минимумлар бериши мумкин. Қўшимча минимумлар шarti қуйидагича бўлади:

$$d\sin\varphi = \pm(2m + 1)\frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (11)$$

Лекин бир тиркишнинг нурларини иккинчи тиркишнинг нурлари қуйидаги шарт бажарилганда кучайтиради (бош максимумлар шarti):

$$d\sin\varphi = \pm 2m\frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (12)$$

Демак, тўлиқ дифракцион манзара қуйидаги шартларга асосланади:

$$b\sin\varphi = \pm m\lambda \quad \text{бош минимумлар} \quad (13)$$

$$d\sin\varphi = \pm(2m + 1)\frac{\lambda}{2} \quad \text{қўшимча минимумлар} \quad (14)$$

$$d\sin\varphi = \pm 2m\frac{\lambda}{2} \quad \text{бош максимумлар} \quad (15)$$

Буларни бошқача ёзамиз:

Аввалги (битти тиркишдан) минимумлар $b\sin\varphi = \lambda \quad 2\lambda \quad 3\lambda$

Қўшимча минимумлар $d\sin\varphi = \frac{\lambda}{2} \quad \frac{3\lambda}{2} \quad \frac{5\lambda}{2}$ (16)

Бош максимумлар $d\sin\varphi = \lambda \quad 2\lambda \quad 3\lambda$

N тиркиш учун қуйидаги шартлар бажарилади:

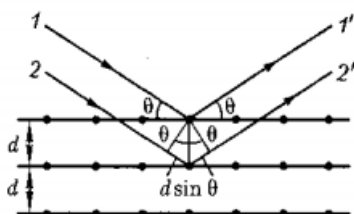
Аввалги минимумлар: $b\sin\varphi = \lambda \quad 2\lambda$

Бош максимумлар: $d\sin\varphi = 0 \quad \lambda \quad 2\lambda$ (17)

Қўшимча минимумлар: $d\sin\varphi = \frac{\lambda}{N}, \frac{2\lambda}{N}, \dots, \frac{(N-1)\lambda}{N}, \dots, \frac{(N+1)\lambda}{N}, \dots$

Икки қўшни максимумлар ўртасида ($N - 1$) та қўшимча минимумлар жойлашади.

Рентген нурлари дифракцияси. Вульф-Брегг формуласи. Дифракцион манзарани кузатиш учун панжара доимийси ва тўлқин узунлиги деярли бир хил бўлиши керак: $d \approx \lambda$ Кристаллар уч ўлчамли фазовий панжаралардир, уларнинг панжара доимийси 10^{-10} м атрофида, шунинг учун оптик диапазонда ($\lambda \approx 5 \cdot 10^{-7}$ м) дифракция кузатилиши мумкин эмас. Лекин рентген нурлари ($\lambda \approx 5 \cdot 10^{-8} \div 10^{-12}$ м) бунинг учун жуда мос келиши мумкин, бу фикрни биринчи марта немис физиги М.Лауэ айтган.



10.8-расм

Рентген нурларининг кристалл панжарасидаги дифракциясини оддий йўл билан ҳисоблашни биринчи марта Г.В.Вульф ва инглиз олимлари Брегглар таклиф этишган. Уларнинг фикри бўйича, рентген нурлари дифракцияси кристалл панжараларида атомлар ётган текисликлардан қайтиш натижасида юз беради (10.8-расм). Кристаллографик текисликлар бир-биридан d масофада жойлашган, параллел рентген нурлари эса шу текисликка θ

бурчаги остида тушаяпти. Бу нурлар атомлар билан таъсирлашиб иккиламчи когерент нурларни ($1'$ ва $2'$) ҳосил қилади, улар эса ўз навбатида ўзаро интерференцияланади. Интерференцион максимумлар $1'$ ва $2'$ нурлар ўртасидаги йўл фарқи $\Delta m \lambda$ га тенг бўлсагина кузатилади: $\Delta = 2d \sin \theta = m \lambda$ (18). Бу муносабат Вульф –Брегг формуласи деб аталади. Демак, дифракция тушиш бурчаги маълум қийматга тенг бўлсагина кузатилад экан. Бу формула икки муҳим нарсани аниқлашга ёрдам беради. Агар тушиш бурчаги θ, m ва λ маълум бўлса, бу формула орқали панжара доимийси d ни аниқлаш мумкин, бошқача айтганда, кристаллнинг структурасини ўрганиш мумкин. Бу метод рентгеноструктура анализи деб аталади. Агар панжара доимийси d маълум бўлса, θ ва m ларни дифракцион манзарадан ўлчаб олиб рентген нурунинг тўлқин узунлиги λ ни топиш мумкин. Бу усул рентген спектроскопияси деган йўналишнинг асосида ётади.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Ёруғлик дифракцияси қандай физик ҳодиса.
2. Френель зоналар услуби нима мақсадда киритилган.
3. Бир қўлингизни кўзингизга яқинлаштириб ва узоқда турган ёруғлик манбасини иккала бармоқингиз билан ҳосил қилинган ингичка тиркишда фокусланг (бармоқларни шундай жойлаштирингки тиниқ тасвир ҳосил бўлсин.) Сиз кўраётган тасвирни тавсифлаб беринг.
4. Кенглиги (а) 60 нм, (б) 60000 нм бўлган тиркишга оқ ёруғлик тушганда ҳосил бўлган бир тиркишли дифракция манзарасини тушунтиринг.
5. Дифракцион панжара учун қайси бири муҳимроқ (а) кўп тиркишга эга бўлиши, (б) жуда яқин жойлашган тиркишларга эга бўлиши?

АДАБИЁТЛАР

1. Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, Prentice Hall; 6 th edition January 17, 2014, USA
2. Султанов Н.А. “Физика курси” Т. “Фан ва технология” 2007 йил
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Курс физики. Учебник -М.: “Академия”, 2007
4. Трофимова Т.И. Курс физики. Учебник. -М.: «Академия», 2007
5. google.com