

6-Ma'ruza

Yaxlit muhitda to'liqlar

Reja:

1. To'liq jarayonlar.
2. Fazaviy va gruppaviy tezliklar
3. To'liqlar interferensiyasi.
4. Turg'un to'liqlar.

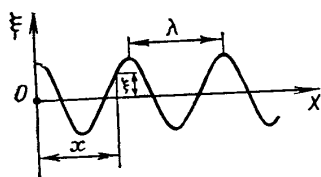
Agar muhitning (havo, suv, prujina, arqon va boshqalarning) qandaydir bir nuqtasini tebranma harakatga keltirilsa, u holda biror vaqt o'tishi bilan bu muhitning boshqa nuqtalari ham tebrana boshlaydi, ya'ni tebranish butun muhitga tarqaladi. Biroq muhitning nuqtalari tebranish manbalaridan tobora uzoqlashib borgan sari keyingi nuqtalarning tebranma harakati dastlabkisidan kechikadi, ya'ni muhitning har bir nuqtasining tebranishi oldingi nuqta tebranishidan faza jihatdan orqada qoladi.

Tebranishlarning fazoda tarqalishi *to'liq harakat* deyiladi. Tebranishlarning muhitda tarqalish jarayoni *to'liq* deb yuritiladi. To'liq tarqalayotgan vaqtda muhitning zarralari to'liq bilan birga siljimasdan, balki o'zining muvozanat vaziyati atrofida tebranadi. To'liqning tarqalish yo'nalishi *nur* deb, ixtiyoriy t vaqtda tebranishlar yetib kelgan muhit zarralarining geometrik o'rinlari esa *to'liq fronti* deb ataladi. O'z navbatida, to'liq frontini muhitning tebranayotgan zarralarining tebranishi hali boshlanmagan zarralardan ajratib turuvchi chegaraviy sirt tarzida tasavvur qilish mumkin. To'liq frontining shakli muhit xossalari, tebranish manbaining shakli va o'lchamlariga bog'liq. Masalan, nuqtaviy tebranish manbaidan tarqalayotgan to'liqlarning fronti *sferik shaklda* bo'ladi. Undan tarqalayotgan to'liqlar esa *sferik to'liqlar* deb nom olgan. Agar tebranish manbai tekislik shaklida bo'lsa, manbaga yaqin sohalardagi to'liq fronti ham tekislikdan iborat bo'ladi. Shu sababli bu to'liqlar *yassi to'liqlar* deb ataladi. Ikkala holda ham nur to'g'ri chiziq bo'lib, u to'liq frontiga perpendikulyar bo'ladi. Zarralarning tebranishi to'liq tarqalayotgan yo'nalishga nisbatan qanday yo'nalganligiga qarab to'liqlar *bo'ylama* va *ko'ndalang* to'liqlarga bo'linadi.

Agar muhit zarrasining tebranishi to'liqning tarqalish yo'nalishida sodir bo'lsa, bunday to'liqlarga *bo'ylama to'liqlar* deyiladi. Bo'ylama to'liqqa misol qilib siqilgan prujinaning tebranishlari, tovush to'liqlari va boshqalarni olish mumkin. Bo'ylama to'liqlar elastik moddada qattiq, suyuq va gazsimon jismlarda yuzaga kelishi mumkin.

Agar muhit zarrasining tebranishi to'liqning tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar bo'lsa, bunday to'liqlarga *ko'ndalang to'liqlar* deyiladi. Ko'ndalang to'liqlarga misol qilib suv yuzasida hosil bo'lgan va arqon bo'ylab yo'nalgan to'liqlarni olish mumkin. Aslida ko'ndalang to'liqlar faqat qattiq jismlardagina yuzaga keladi. Suyuqlik va gazlarda ko'ndalang to'liqlar hosil bo'lmaydi, chunki gaz va suyuqliklarda elastik kuchlar vujudga kelmaydi. Suyuqlikning sirti ustida gap ketganda bunday deb bo'lmaydi, chunki suyuqlik sirtida ko'ndalang to'liqlar tarqaladi, bu holda shaklning elastikligini og'irlik kuchlari va sirt hamda taranglik kuchlari ta'minlab turadi. Shunday qilib, ko'ndalang to'liq tarqalish yo'nalishida muhit zarralarining do'ngliklari va chuqurliklari, bo'ylama to'liqda esa muhit zarrachalarining zichlashishi va siyraklanishi davriy hosil bo'la boradi. To'liq to'siqqa duch kelganda qaytadi, bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganda esa sinadi.

Bir tebranish davri davomida to‘lqinning tarqalish masofasi **to‘lqin uzunligi** deyiladi. Boshqacha aytganda, to‘lqin uzunligi, to‘lqinning bir xil fazada tebranayotgan ikki yaqin nuqtalari orasidagi masofadir.



Agar tebranish davrini T bilan, to‘lqin uzunligini λ bilan belgilasak, u holda to‘lqin tezligi quyidagicha aniqlanadi:

$$u = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu$$

1 – rasm. (6.1)

bunda ν - tebranish chastotasi.

To‘lqin tarqalish jarayonida manbadan tobora uzoqroqda joylashgan muhit zarralari tebrana boshlaydi. Bu jarayonda to‘lqin, xuddi o‘zini vujudga keltirgan manbadan «yugurib qochayotgandek» tuyuladi. Shu boisdan uni **yuguruvchi to‘lqin** deb ataladi.

Biror 0 nuqtadan x masofa uzoqlikdagi zarraning ixtiyoriy t -vaqtdagi siljishi manbaga bevosita tegib turgan zarraning $t = \frac{x}{u}$ vaqtdagi siljishiga teng bo‘ladi, ya’ni

$$\xi = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{u} \right) \quad (6.2)$$

Bu ifoda **yuguruvchi to‘lqin tenglamasi** deb ataladi. U to‘lqin tarqalayotgan muhit ixtiyoriy zarrasining muvozanat vaziyatdan siljishi (ξ) ni vaqt (t) va zarraning tebranish manбайдan uzoqligi (x) ning funksiyasi sifatida aniqlanadi. (6.2) tenglamaga t va x ga nisbatan simmetrik ko‘rinish berish uchun **to‘lqin soni** deb ataluvchi k – kattalikni kiritamiz:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (6.3)$$

(6.1) va (6.3) dan to‘lqin soni k , aylanish chastotasi ω va to‘lqinning faza tezligi u orasida quyidagicha munosabat bor degan xulosa chiqadi:

$$u = \frac{\omega}{k} \quad (6.4)$$

(6.3) dagi u ning (6.4) qiymat bilan almashtirib va ichiga ω ni kiritib, **yassi to‘lqin** uchun quyidagi ko‘rinishdagi tenglamani topamiz:

$$\xi = A \cos(\omega t - kx) \quad (6.5)$$

Bu x -ning kamayishi tomoniga qarab tarqaluvchi to‘lqin tenglamasidir.

r - radiusli **sferik to‘lqin tenglamasini** (6.5) ga o‘xshatib quyidagi ko‘rinishda yozishimiz mumkin:

$$\xi = \frac{A}{2} \cos \omega \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (6.6)$$

yoki

$$\xi = \frac{A}{2} \cos(\omega t - kr)$$

bundan r – radiusli to‘lqin sirtida yotuvchi zarralar $\omega \left(t - \frac{r}{u} \right)$ faza bilan tebranadi, degan xulosaga kelamiz.

6.2.- Fazaviy va gruppaviy tezliklar

Yassi to‘lqin fronti tekislikdan iborat bo‘lib, bu tekislikning barcha nuqtalari bir xil fazada

tebranadi. Shuning uchun bu yassi to‘lqin fronti ***bir xil fazalar tekisligi*** deyish mumkin. U holda (4.63) to‘lqin tenglamasida

$$\omega\left(t - \frac{x}{u}\right) = const$$

bo‘lishi kerak. Bunday ω ni o‘zi doimiy kattalik bo‘lgani uchun

$$t - \frac{x}{u} = const \quad (6.7)$$

ko‘rinishida yozish mumkin. Bu (6.7) tenglik vaqt t bilan bir xil fazalar tekisligining koordinatasi x orasidagi bog‘lanishni ifodalaydi. Zarralarning ox o‘qi bo‘ylab harakat tezligini topish uchun (6.7) dan differensial olamiz

$$dt - \frac{1}{u} dx = 0$$

bundan

$$u = \frac{dx}{dt} \quad (6.8)$$

Bu ifodani fazoviy tezlik deb yuritiladi. To‘lqinlarning fazoviy tezliklari faqatgina muhitning xossalriga bog‘liq bo‘lib, to‘lqinning parametrlari (chastotasi, davriga, shuningdek to‘lqin uzunligi) ga bog‘liq emas. Masalan, berilgan muhitda turli chastotali to‘lqinlar bir xil fazoviy tezlikda tarqalishi mumkin. Lekin ba’zi sirt bo‘ylab yo‘nalgan to‘lqinlar borki, bularning fazaviy tezliklari chastotalariga bog‘liq bo‘ladi. ***To‘lqinlar fazaviy tezligining chastotaga bog‘liqligini ifodalovchi hodisaga to‘lqinlar dispersiyasi*** deb ataladi.

Chastotalari turlicha bo‘lgan bir necha to‘lqinlar yig‘indisini ***to‘lqinlar guruhi*** yoki ***to‘lqin «paketi»*** deb ataladi. «Paket»ning tezligi uning tarkibiga kirgan to‘lqinlarning birortasini ham tezligiga mos kelmaydi. Bunday hollarda ***guruhli tezlik*** tushunchasidan foydalanamiz. λ dan $\lambda + d\lambda$ to‘lqin uzunliklar sohasida «paket»ning guruhli tezligi quyidagicha ifodalanadi:

$$u_g = u - \lambda \frac{du}{d\lambda} \quad (6.9)$$

Bu munosabat tezlikning to‘lqin uzunlikka bog‘liqligini ifodalashi $\left(\frac{du}{d\lambda}\right)$ bilan fazaviy tezlikdan farqlanadi.

«Paket» tarkibiga kirgan barcha to‘lqinlar bir xil tezlik bilan tarqalganda, ya’ni $\left(\frac{du}{d\lambda}\right) = 0$

bo‘lgan holda dispersiya hodisasi kuzatilmaydi. Bu vaqtda guruhli va fazaviy tezliklar o‘zaro ($u_g = u$) teng bo‘lib, aynan bir xil qiymatga ega bo‘ladi.

6.3. To‘lqinlar interferensiyasi.

Turg‘un to‘lqinlar

Agar muhitda bir vaqtni o‘zida bir nechta to‘lqin tarqalayotgan bo‘lsa, ular bir-birlari bilan uchrashgandan so‘ng ham xuddi o‘zidan boshqa to‘lqin mavjud bo‘lmagandek, mustaqil o‘z tarqalishini davom ettiraveradi. Bu hodisa to‘lqinlar ***superpozitsiya prinsipi*** deyiladi.

Chastotalari bir xil va fazalar farqi o‘zgarmas bo‘lgan to‘lqinlarni ***kogerent*** to‘lqinlar, manbalarni esa ***kogerent manbalar*** deyiladi. Kogerent to‘lqinlarning qo‘shilishida, ularning bir-birini kuchaytirishi yoki zaiflashtirish hodisasi, to‘lqinlar ***interferensiyasi*** deyiladi.

Tebranish fazalari mos ravishda $(\omega t + \varphi_1)$ va $(\omega t + \varphi_2)$ larga teng bo'lgan ikkita nuqtaviy manbalardan tarqalayotgan to'liqini tekshiraylik.

$$\xi = \frac{A_1}{r_1} \cos(\omega t + \varphi_1 - kr_1)$$

$$\xi = \frac{A_2}{r_2} \cos(\omega t + \varphi_1 - kr_2) \quad (6.10)$$

bu yerda A_1 va A_2 to'liqlarning tekshirayotgan nuqtadagi amplitudalari, k – to'liq soni, r_1 va r_2 to'liq manbalaridan berilgan nuqttagacha bo'lgan masofa.

Quyidagi shart bajarilganda to'liqlar bir-birini kuchaytiradi.

$$k(r_1 - r_2) - (\alpha_1 - \alpha_2) = \pm 2\pi m \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (6.11)$$

Quyidagi shart qanoatlantirilganda esa

$$k(r_1 - r_2) - (\alpha_1 - \alpha_2) = \pm 2\pi \left(n + \frac{1}{2} \right) \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (6.12)$$

to'liqlar bir-birini zaiflashtiradi.

Demak, agar to'liqlarning yo'l farqi yarim to'liq uzunliklarining juft sonidan iborat bo'lsa, berilgan nuqtada maksimum, agar yo'l farqi yarim to'liq uzunliklarining toq sonidan iborat bo'lsa, berilgan nuqtada minimum kuzatiladi.

To'liqlar interferensiyasining boshqa muhim holi bir to'g'ri chiziq bo'ylab qarama-qarshi tomonga yo'nalgan ikki kogerent to'liqni qo'shishdan iboratdir. Chastotalari va amplitudalari bir xil bo'lgan ikki yassi to'liq bir-biriga qarab harakatlanganda uchrashib, natijada turg'un to'liq vujudga keladi.

Bu to'liqlarning tenglamalarini yozaylik:

$$\xi_1 = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{u} \right); \quad \xi_2 = A \cos \omega \left(t + \frac{x}{u} \right) \quad (6.13)$$

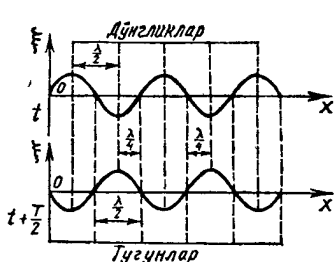
Bu tenglamalarni qo'shamiz va kosinuslar teoremasi asosida o'zgartirishlar kiritamiz:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 = A \left[\cos \omega \left(t - \frac{x}{u} \right) + \cos \omega \left(t + \frac{x}{u} \right) \right] = 2A \cos \omega \frac{x}{u} \cos \omega t ;$$

bu yerdagi $\omega = \frac{2\pi}{T}$ va $uT = \lambda$ ekanligini eslasak, yuqoridagi ifodani

$$\xi = 2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \cos \omega t \quad (6.14)$$

ko'rinishda yozamiz. () ifoda **turg'un to'liq** tenglamasidir. Undan ko'rinib turibdiki, turg'un to'liq chastotasi, uchrashayotgan to'liqlarning chastotasiga teng bo'lib, amplitudasi vaqtga bog'liq bulmasdan x koordinataga bog'liq:



$$A_T = 2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \quad (6.15)$$

$$2\pi \frac{x}{\lambda} = \pm n\pi \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

shartni qanoatlantiruvchi nuqtalarda turg'un to'liq amplitudasining maksimal qiymati $2A$ ga teng bo'ladi. Bu nuqtalar turg'un to'liqning **do'ngliklari** deb ataladi. (2-rasm) (6.15) ga asosan do'ngliklarning koordinatalari uchun

$$x = \pm n \frac{\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (6.16)$$

ifodani hosil qilamiz.

$$2\pi \frac{x}{\lambda} = \pm \left(n + \frac{1}{2} \right) \pi \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

shartni qanoatlantiruvchi nuqtalarda esa turg'un to'liqin amplitudasi nolga teng bo'ladi. Bu nuqtalar **turg'un to'liqinning tugunlari** deb ataladi (2-rasm). Bundan tugunlarning koordinatalari

$$x = \pm (2n + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (6.17)$$

ifoda bilan aniqlanishini topamiz. 2-rasmdan ko'rinadiki do'ngliklar va tugunlar bir-biridan to'liqinning chorak uzunligiga teng masofada joylashadi.

Savol va topshiriqlar

- 1. To'liqinlar necha xil bo'ladi?**
- 2. To'liqin fronti deb nimaga aytiladi?**
- 3. To'liqinlar dispersiyasi deb nimaga aytiladi?**
- 4. Turg'un to'liqinlar deb nimaga aytiladi?**