Mexanikaviy tebranishlar va to’lqinlar

Reja:

1.Tebranma harakat haqida tushuncha.

2. Garmonik tebranma harakat kinematikasi va dinamikasi.

3. Garmonik tebranma harakat energiyasi.

4. Tebranishlarning skalyar va vektor qo’shilishi.

5. Matematik, fizik, prujinali mayatniklar va tebranish konturi.

U yoki bu darajada takrorlanuvchanligi bilan ajralib turadigan jarayonlarga ***tebranishlar*** deyiladi. Takrorlanayotgan jarayonning fizik tabiatiga qarab tebranishlar mexanik, elektromexanik, elektromagnit va boshqalarga ajraladi. Biz mexanik tebranishlarni ko'ramiz. Tebranishlar ***erkin*** (yoki xususiy) tebranishlar, ***majburiy*** tebranishlar, ***avtotebranishlar*** va ***parametrik*** tebranishlarga bo'linadi.

Muvozanat holatidan chiqarilganidan so'ng, o'zicha tebranadigan sistemadagi tebranishlarga ***erkin*** yoki ***xususiy*** tebranishlar deyiladi. Masalan, matematik mayatnikning tebranishi erkin tebranishlarga misol bo'ladi. Tebranishlar sinus yoki kosinus qonuni bo'yicha sodir bo'lsa, bunday tebranishlarga ***garmonik tebranishlar*** deyiladi. Garmonik tebranishlar tenglamasi shunday yoziladi:

$$X = A\cos\alpha = A\cos(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

π ***Tebranish amplitudasi A*** deb tebranayotgan nuqtaning muvozanatdan chetga maksimal siljish kattaligiga aytiladi. ***Tebranish fazasi***ning fizik ma’nosi shundan iboratki, u vaqtning istalgan paytidagi siljishni, ya’ni tebranayotgan sistemaning holatini belgilaydi. Fazaning *2* rad o’zgarishiga bir ***davr T*** ga teng vaqt oraligi mos keladi. Vaqt birligidagi tebranishlar soni ***n*** ga ***chastota*** deyiladi. U ***T*** davr bilan shunday bog’langan:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \qquad \textbf{\textit{(2)}}$$

Tebranish chastotasining birligi ***1 Gers***. ***I Gers*** chastota bir sekunddagi nuqtaning tebranishlariga teng. Garmonik tebranma harakat qilayotgan jismning ***V*** tezligi ***(1)*** ifodadan vaqt bo’yicha olingan hosilaga teng.

$$V = x' = -A\, \sin(\omega t + \varphi)\,. \qquad (3)$$

Agar ***(1)*** dan yana vaqt bo’yicha hosila olsak, tebranayotgan nuqtaning tezlanishini topamiz:

$$W = x'' = A\cos(\omega t + \varphi)\ . \qquad (4)$$

Yana ***(1)*** ifodani sinus orqali ham yozish mumkin va tebranayotgan nuqta tezligi va tezlanishi uchun ***(2)*** va ***(3)*** ga o’xshash ifodalarni hosil qilish mumkin. ***Garmonik tebranma harakat***ning grafigi sinusoida yoki kosinusoidadan iborat bo’ladi. Erkin garmonik tebranishlarning differensial tenglamasi quyidagicha bo’ladi:

$$x'' + \omega^2 x = 0\ . \qquad (5)$$

Bu tenglamaning yechimi shunday ko’rinishga ega:

$$x = A\cos(\omega t + \varphi) . \qquad (6)$$

Bu tenglama yechimini kosinus orqali ham yozish mumkin.

Tebranayotgan sistema tashqaridan madad olib turmasa, vaqt o’tishi bilan so’nadi. Bunday holda so’nuvchi tebranishga ega bo’lamiz, uning differensial tenglamasi quyidagicha bo’ladi:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x - \frac{r}{m}\frac{dx}{dt} , \qquad (7)$$

bu yerda r — muhitning qarshilik koeffitsienti, ***k*** - kvazielastik kuch koeffitsienti, ***m*** — moddiy nuqta massasi.

Tebranayotgan sistemaga tashqi kuch davriy ravishda ta'sir etsa, ***majburiy tebranishlar***ga ega bo'lamiz. Bunday tebranishlarning differensial tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$F_0 \sin \omega_0 t - KX = -m\omega^2 X, \qquad \textbf{\textit{(8)}}$$

bu yerda K - elastiklik koeffitsienti, ω - sistemaning xususiy chastotasi, F_0 - majbur etuvchi kuch amplitudasi, ω_0 - majbur etuvchi kuch chastotasi.

Majburiy tebranishlar amplitudasi majbur etuvchi kuchning chastotasiga bog'liq bo'ladi. Tebranayottan sistemaning xususiy chastotasi majbur etuvchi kuchning chastotasiga teng bo'lganda tebranishlar amplitudasi maksimal qiymatga erishadi. Bu hodisaga ***rezonans*** deyiladi.

Bir yo'nalishda bir xil davr bilan tebranayotgan ikki sistemaning tebranishining qo'shilishini ko'ramiz.

$$X = X_1 + X_2 = A_1 cos(\omega t + \varphi_1) + A_2 cos(\omega t + \varphi_2) \,. \qquad (9)$$

Bunday tebranishlarni qo'shilishini grafik ravishda ko'rish mumkin. Buning uchun ikkala tebranish amplitudalarini ***x, u*** da fazalarni hisobga olib chiziladi. So'ng $\boldsymbol{A_1}$ va $\boldsymbol{A_2}$ larni parallelogram qoidasi bo'yicha ko'shiladi va natijaviy tebranish amplitudasi ***A*** topiladi va umumiy tebranish tenglamasi yoziladi.

Garmonik tebranma harakat qilayotgan har qanday sistema ma'lum tebranish energiyasiga ega bo'ladi. Bu energiya quyidagicha ifodalanadi:

$$W = \frac{KA^2}{2}, \qquad (10)$$

bu yerda *A* - tebranish amplitudasi, *K***-** elastiklik koeffitsienti.

Tebranayotgan sistemalarga misol sifatida ***matematik*** va ***fizik mayatniklar***ni ko'rsatish mumkin. Ularning harakat tenglamasi quyidagicha:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega^2\varphi = 0 \qquad \textbf{\textit{(11)}}$$

bu yerda ω - mayatnikning burilish burchagi,

ω- ikki mayatnik uchun har xil ko'rinishga ega bo'lgan kattalik. Bu tenglamaning yechimi quyidagicha:

$$\varphi = A cos(\omega t + \omega_0) . \qquad (12)$$

Matematik mayatnik uchun tebranish davri shunday ko’rinishga ega:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad \textbf{(13)}$$

bu yerda ***l*** - matematik mayatnikning uzunligi, ***g*** - erkin tushishi tezlanishi.

Fizik mayatnik uchun tebranish davri quyidagicha bo’ladi:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgL}} \qquad \textbf{(14)}$$

bu yerda ***I***- fizik mayatnikning inersiya momenti, ***m*** – massasi , ***L*** - fizik mayatnikning osilish nuqtasi bilan massa markazi orasidagi masofa.

TO’LQINLAR

Tebranishlarning fazoda tarqalishiga ***to’lqin*** deb ataladi. To’lqinlar ikki xil bo’ladi: ***kundalang*** va ***buylama to’lqinlar***. Kundalang to’lqinlarda muhitning zarralari to’lqin tarqalayotgan yo’nalishga perpendikulyar yo’nalish bo’ylab tebranadi. To’lqin uzunligi λ

, to’lqin tezligi ***v***, tebranish davri ***T*** va chastotasi ***n*** orasida quyidagi boglanish bor:

$$V = \lambda n. \qquad (1)$$

Elastik muhitda tarqalayotgan ko’ndalang to’lqin tezligi formula bilan ifodalanadi:

$$V_e = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \qquad (2)$$

bunda ***G*** -siljish moduli (ko'ngdalang elastiklik moduli),

ρ - muhit zichligi.

- Bo'ylama to'lqin tezligi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$V_b = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \qquad (3)$$

bu yerda **E** - Yung moduli.

Quyida tebranma harakatlar turlaridan ayrimlarini keltiramiz

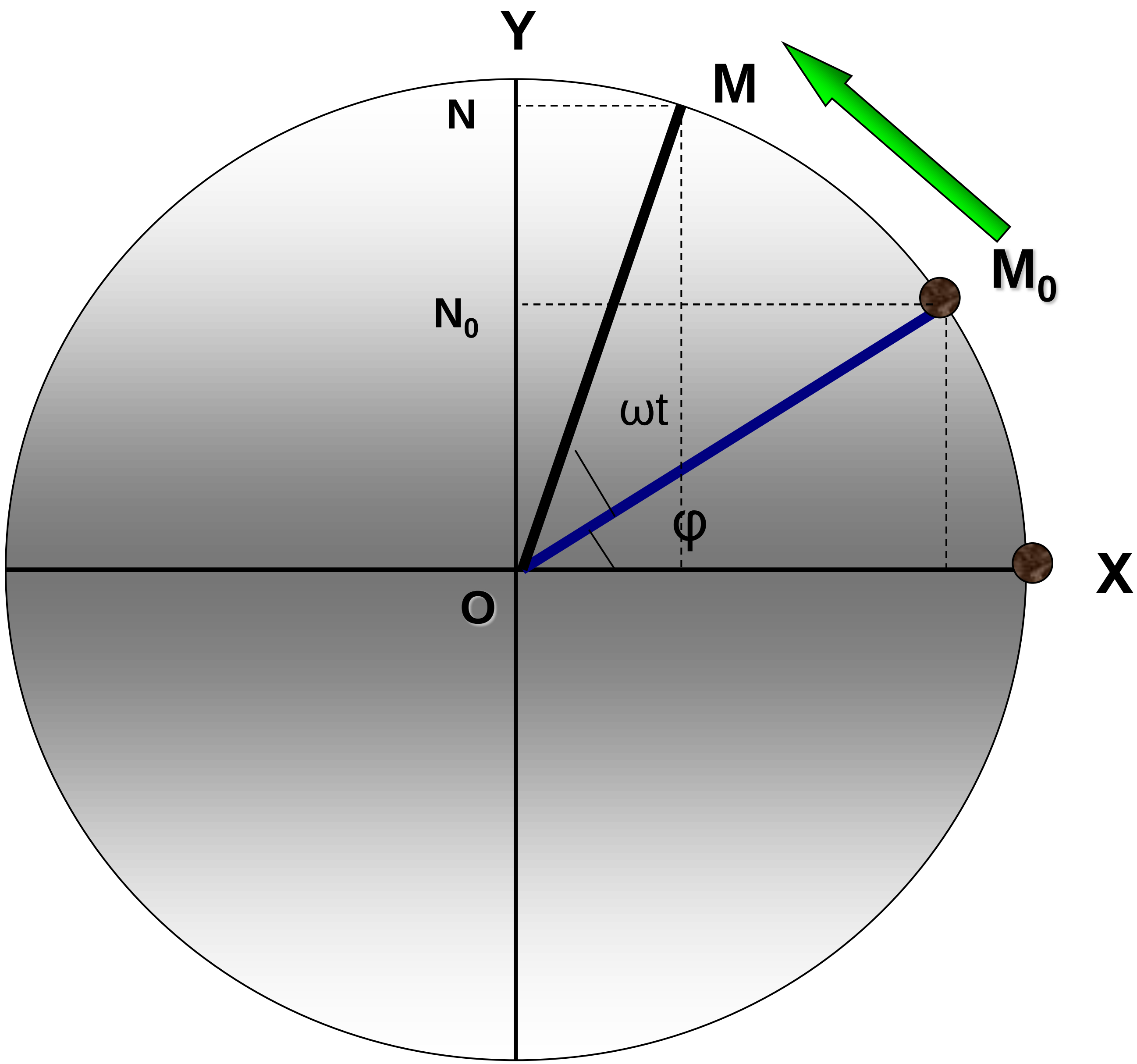
:

Oddiy tebranma harakatlar

- Tebranma xarakatga misollar
-

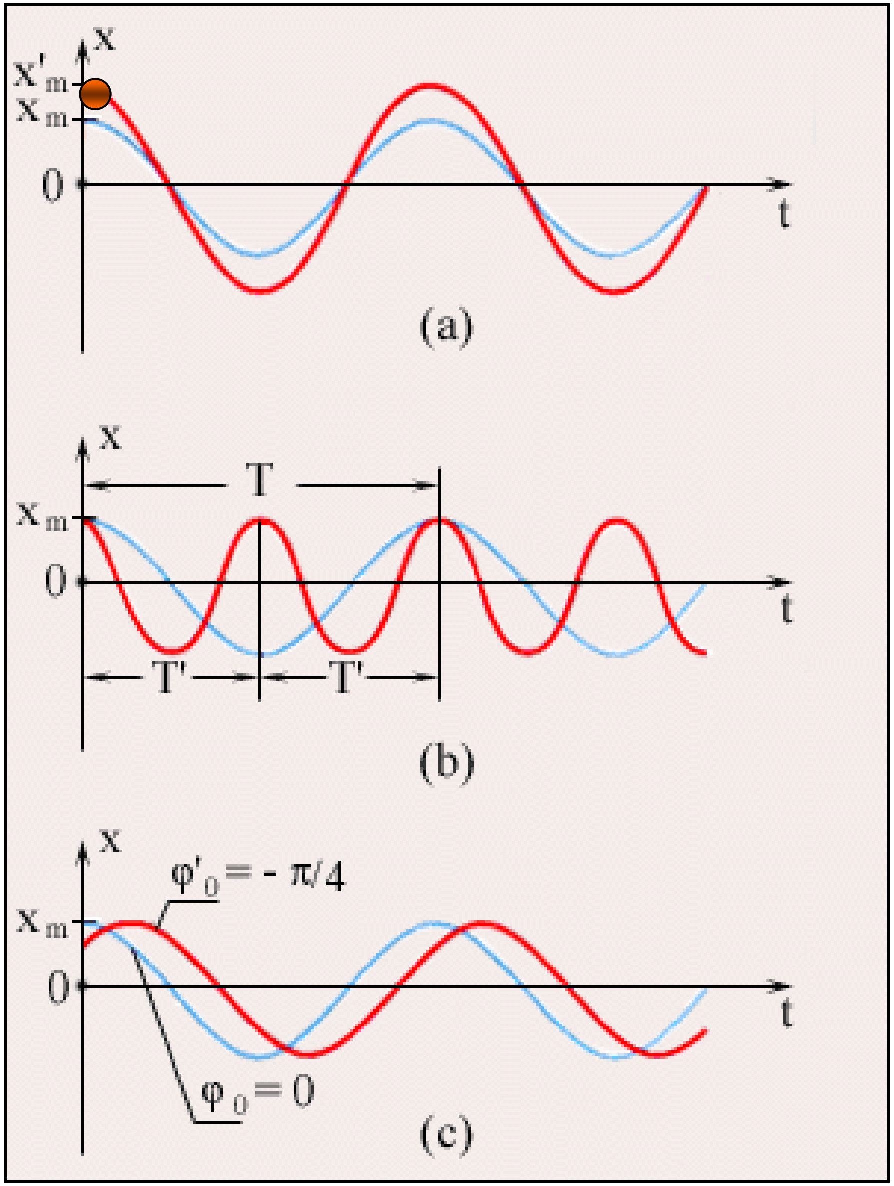
Мисол. М нуқта А радиусли айлана бўйлаб $\omega = \frac{2\pi}{T}$ бурчак тезлик билан ҳаракатланаётган бўлсин. 1-расм. t =0 онда Y M_0 нуқтада бўлади. Шу нуқтага ўтказилган айлананинг радиуси О M_0 худди шундай бурчак тезлик билан стрелка йўналишида айланади. Агар t=0 онда радиус горизонтал билан φ бурчак ҳосил қилган бўлса, t вақт ўтгандан сўнг эса бу бурчак ωt+φ қийматга эга бўлади. М нуқтанинг тик диаметрга проекцияси О нуқта атрофида гармоник тебранишлар ҳосил қилади. Нуқтанинг силжиши (1) формула билан ифодаланади. М нуқтанинг Х ўққа проекцияси хам шундай қонун асосида тебранади. (Анимацион роликларга қаранг)

$t=0$

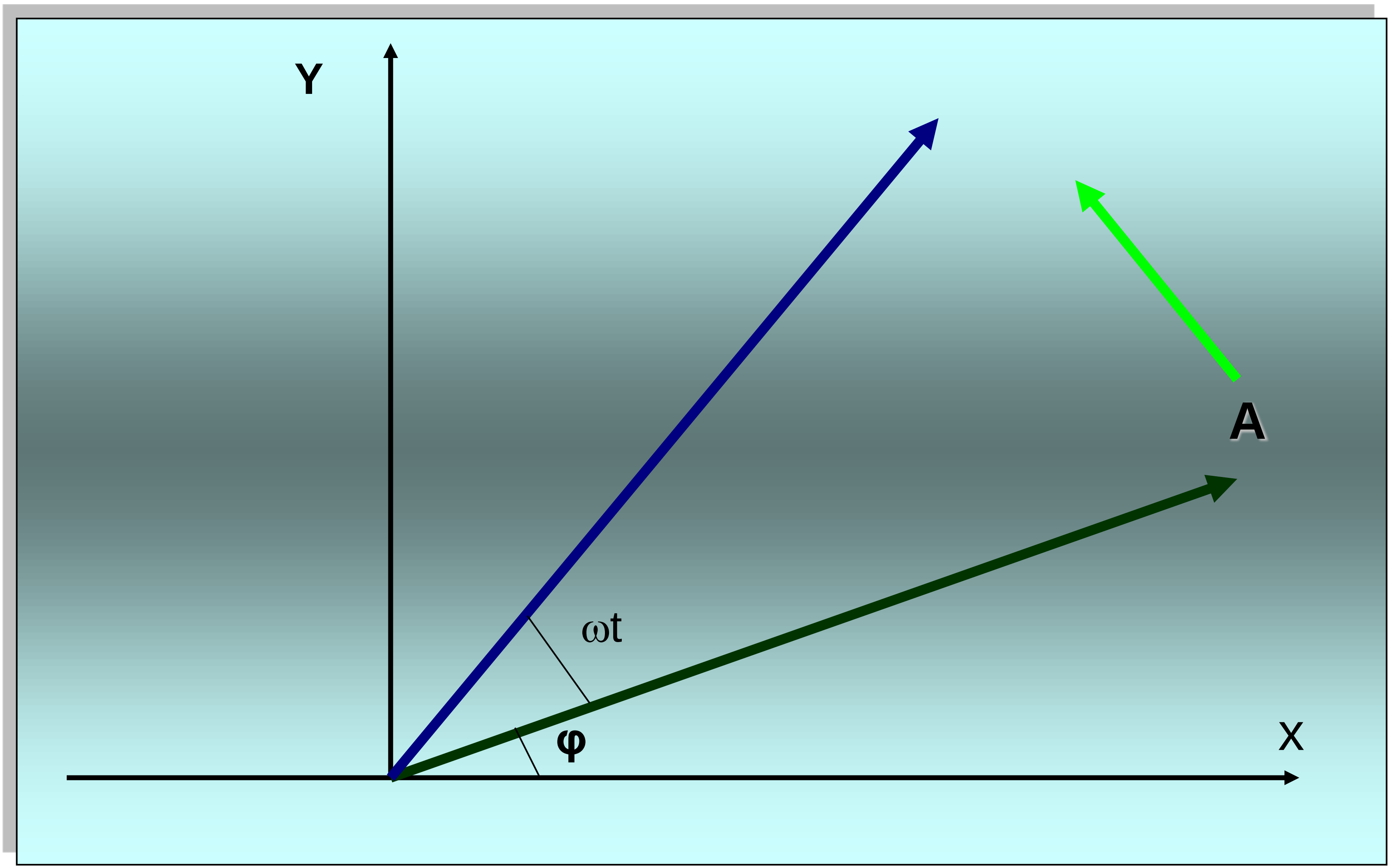


Flash animation

Ciljishni grafik asosda tasvirlash mumkin. Buning uchun gorizontal o'qqa vaqt, vertikal o'qqa esa siljish kattaligi qo'yiladi



Garmonik tebranishlarning grafik tasvirlash usullaridan yana biri <u>vektor diagrammalar</u> usuli hisoblanadi.



Нуқтанинг силжишини t вақт мобайнида босиб ўтилган йўл сифатида қараб, унинг тезлигини топиш мумкин.

$$\vartheta = \frac{dY}{dt} = \omega A \cos(\omega t + \varphi) \qquad (2)$$

Тезланиш эса:

$$a = \frac{d\vartheta}{dt} = -\omega^2 A \sin(\omega t + \varphi) = \omega^2 y \qquad (3)$$

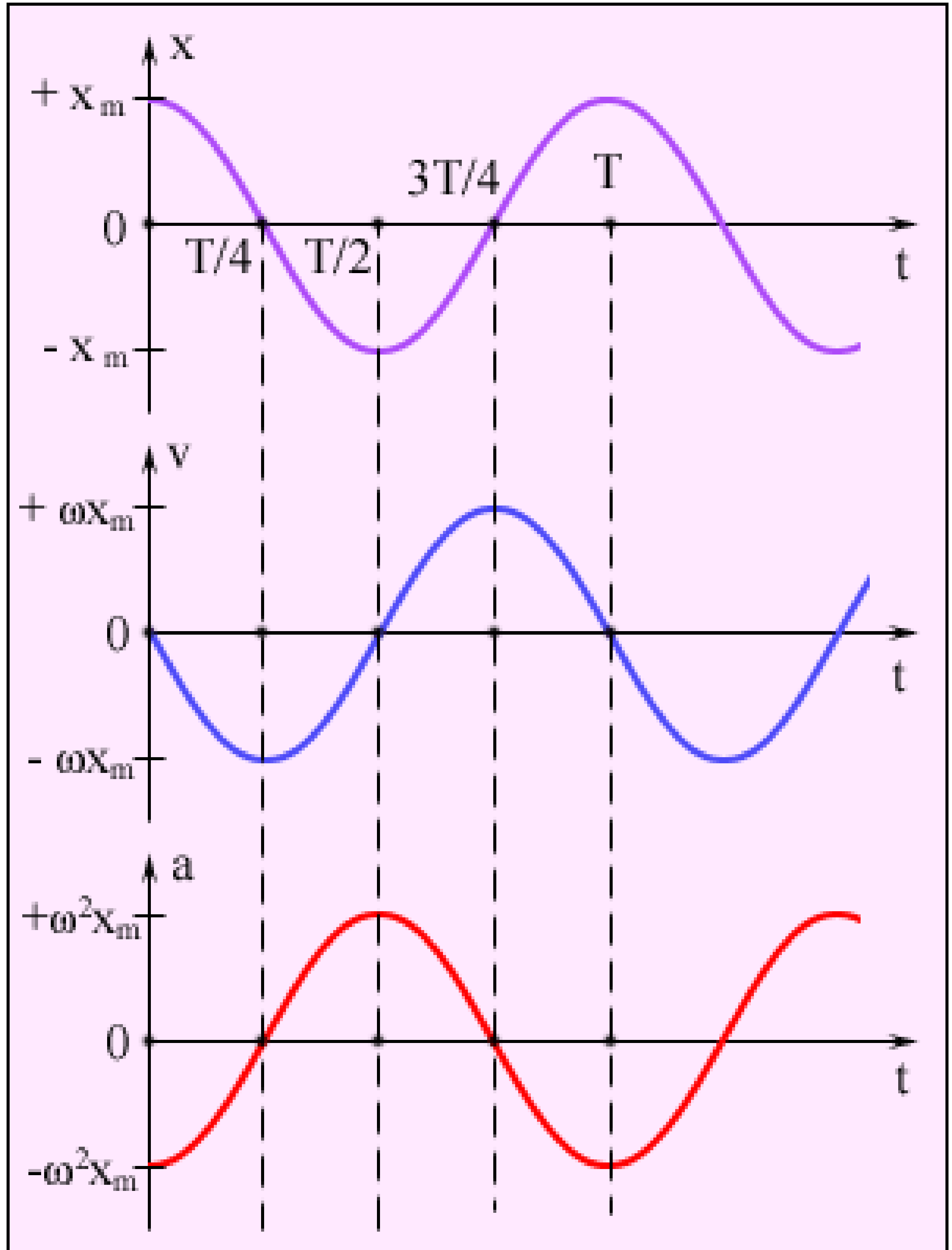
Демак, гармоник тебранаётган нуқтанинг тезланиши силжишга пропорционал бўлиб, тескари йўналган бўлади.

Keyingi slayda, siljish kattaligi, tezlik va tezlanishning vaqt bo’yicha o’zgarishi grafiklari keltirilgan .

X(t) koordinata

V(t) tezlik

a(t) tezlanish



Гармоник тебранишлар учун динамикани 2-чи қонуни

$$\vec{F} = m\vec{a} = -m\omega^2\vec{A}\sin(\omega t + \varphi) = -m\omega^2\vec{y} \quad (4)$$

Гармоник тебранаётган жисмга қўйилган куч кўчишга тескари йўналган, у жисмни ўрта ҳолатга қайтаришга ҳаракат қилади, шунинг учун бу куч қайтарувчи куч дейилади.

Flash animation 1

Гармоник тебранаётган жисм учун энергиянинг сақланиш қонуни амал қилади, яъни тўла энергия ўзгармас бўлади.

$$E = T + U = const \quad (5)$$

Кинетик энергия $T = \frac{mv^2}{2} = \frac{m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi)}{2}$ (6)

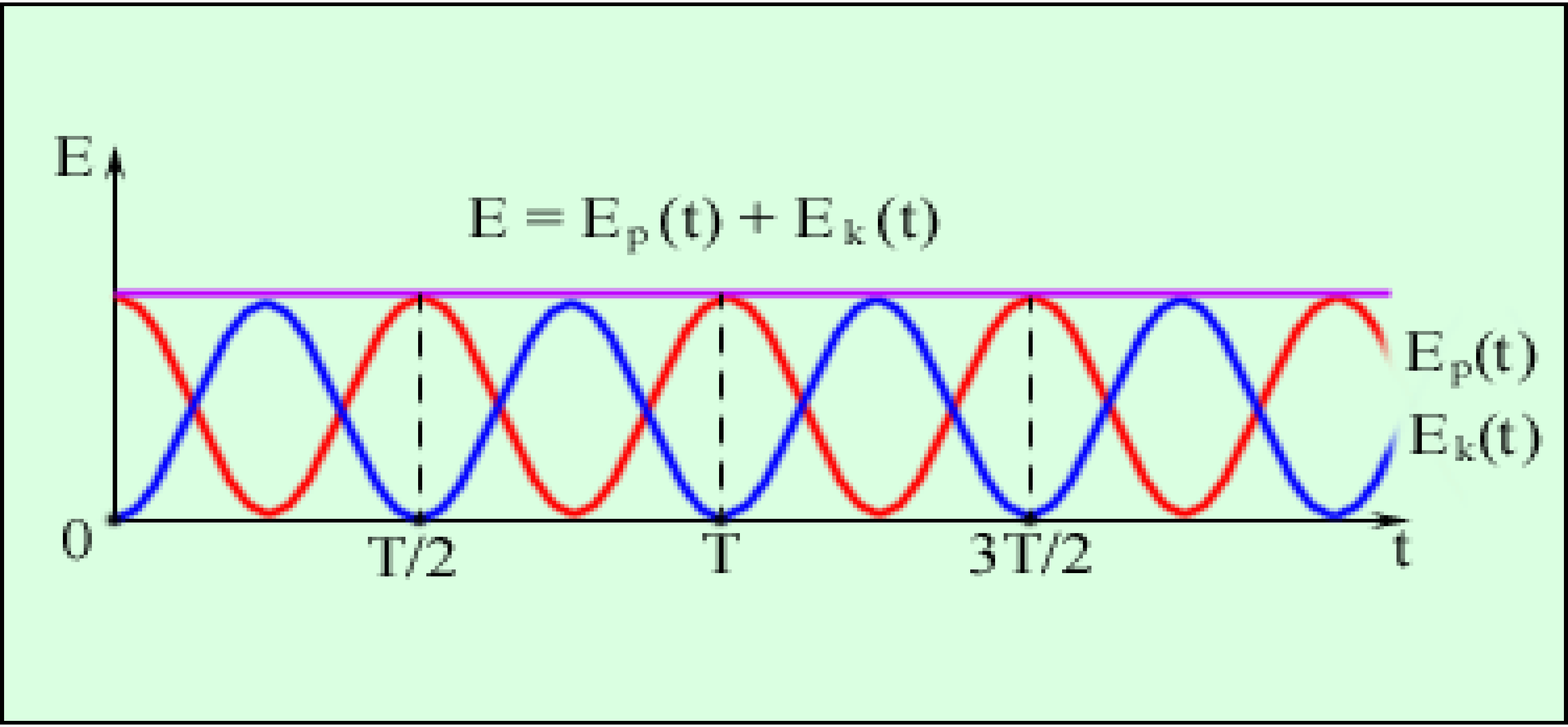
Кинетик энергиянинг максимал қиймати тўла энергияга тенг бўлишидан

$$E = T_{\max} = \frac{m\omega^2 A^2}{2} \quad (7)$$

Бу ҳолатдан ушбу потенциал энергия формуласини олиш мумкин:

$$U = E - T = \frac{m\omega^2 A^2}{2} - \frac{m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi)}{2} = \frac{m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi)}{2} \quad (8)$$

Yanada yaqqol tasavur qilish uchun qo'yidagi animatsiyaga qaraymiz [Java Scr]



Динамиканинг иккинчи қонунидан, тебранаётган жисмлар учун қуйдаги ифодани олиш мумкин: $ma = \frac{md^2Y}{dt^2} = F = -m\omega^2 Y$, бундан эса

$$\frac{d^2Y}{dt^2} + \omega^2 Y = 0 \qquad (9)$$

ифодани олиш мумкин.

(9)-ифода гармоник тебранишларнинг дифферинциал тенгламаси дейилади. Унинг ечими

$Y = A\sin(\omega t + \varphi)$ ифода ҳисобланади. Гармоник тебранма ҳаракат қилувчи тизимларга турли кўринишдаги маятникларни келтириш мумкин.

1. Пружинали маятник.

Юкчани пастга силжитиб ва уни қўйиб юбориб тебранишлар ҳосил бўлишини кузатиш мумкин. Юкчага таъсир этувчи кучни

$$F = -kY \qquad (10)$$

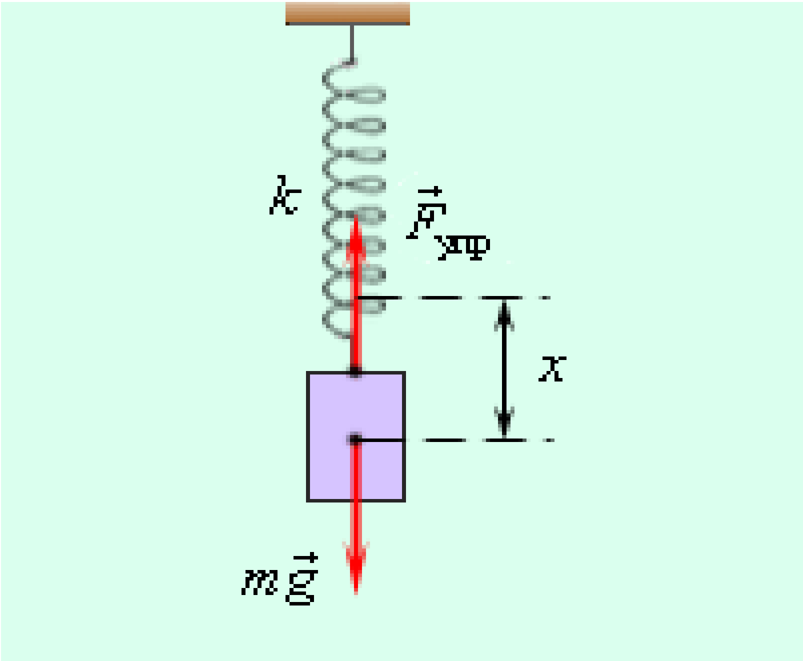
кўринишда ёзиш мумкин (эластиклик кучини силжишга пропорционал эканлигидан) ушбу формулани

$\vec{F} = m\vec{a} = -m\omega^2 \vec{A} \sin(\omega t + \varphi) = -m\omega^2 \vec{y}$ билан солиштирсак

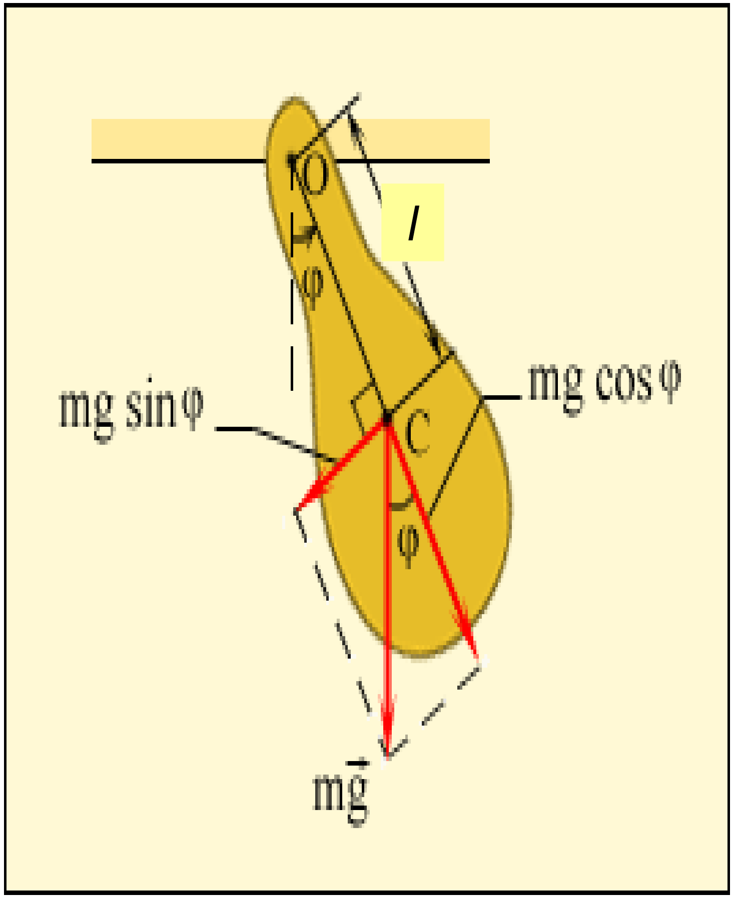
$k = m\omega^2 = m\dfrac{4\pi^2}{T^2}$ келиб чиқади.

Бундан эса $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$, k-эластиклик коэффиценти.

Animation



2. Физик маятник.



Бу оғирлик маркази C дан ўтмаган O ўқ атрофида тебрана оладиган жисм хисобланади. Агар m массага ва I инерция моментига эга бўлган маятник кичик φ бурчакка оғдирилган бўлса, маятникка қўйилган куч моменти $M = -myl\,\mathbf{sin}\,\varphi \approx myl\varphi$ (минус ишораси куч моментининг жисмни **φ** бурчак йўналишини қарама-қарши томонга оғдиришини кўрсатади). Айланма харакатнинг асосий қонуни $M = I\beta = I\dfrac{d^2\varphi}{dt^2}$ дан

$$I\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -mgl\varphi$$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{mgl}{I}\varphi = 0 \qquad (11)$$

Бундан, физик маятникнинг циклик частотаси

$$\omega = \sqrt{\frac{mgl}{I}},$$

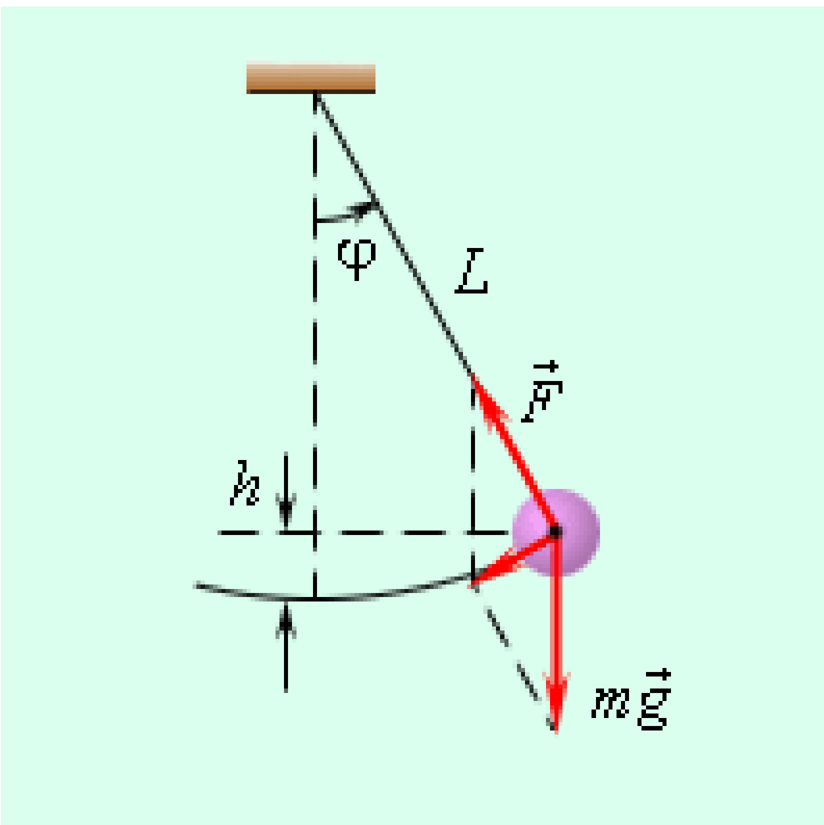
Даври $$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}} \qquad (12)$$

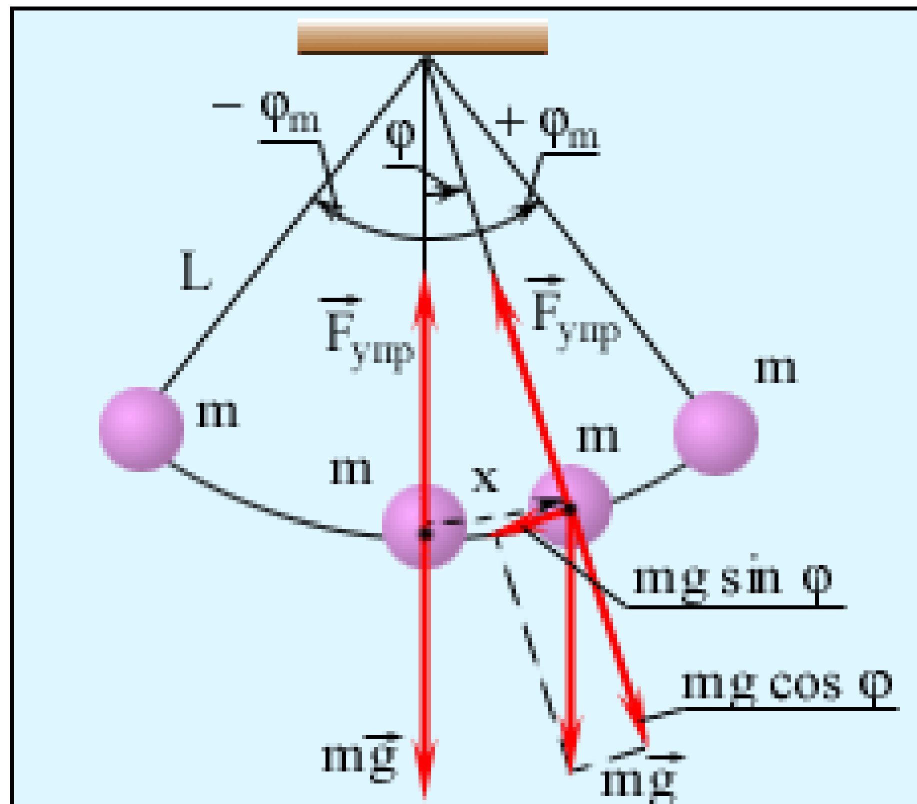
l -маятник оғирлик марказидан айланиш ўқигача бўлган масофа.

3.Математик маятник. ***L*** узунликдаги оғирлиги хисобга олинмайдиган, m массали моддий нуқта хисобланади. У физик маятникнинг хусусий холидир. Бу ҳолатда $I=ml^2$ бўлганлиги сабабли, математик маятникнинг тебранишлар даври

Animation

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (13)$$

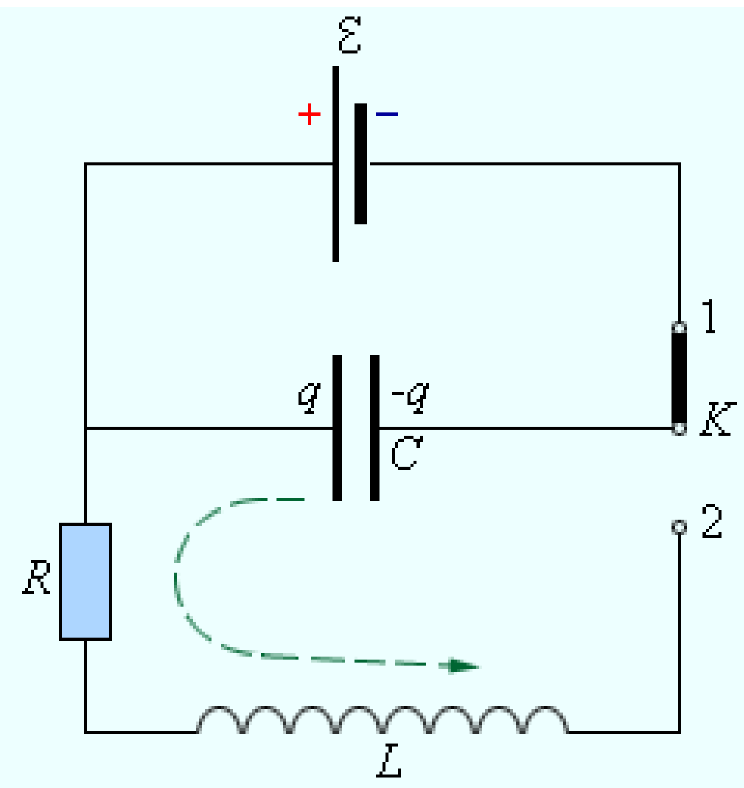




Эркин ёки хусусий электромагнит тебранишлар C конденсатор ва L индуктивликдан ташкил топган, **тебраниш контури** деб аталган берк электр занжирида юз берадиган ***заряд***, ***кучланиш*** ва ***токларнинг*** тебранишига айтилади.

Бундай, тебранишлар натижасида конденсатор $W = \frac{CU^2}{2}$ энергиясининг ғалтак энергияси $W = \frac{LI^2}{2}$ га ўтиш ва аксинча йўналишдаги жараён юз беради. Ғалтакдаги ўзиндукция ЭЮК $\varepsilon_S = -L\frac{dI}{dt}$, конденсатордаги потенциаллар фарқи

$U = q/C$.



[Animation fizika kartinkax](#)

Кирхгофнинг 2-қонунидан

$$-L=\frac{dI}{dt}=\frac{Q}{C} \text{ ёки } \frac{dI}{dt}+\frac{1}{LC}Q=0$$

I=dQ/dt ва $\frac{dI}{dt}=\frac{d^2Q}{dt^2}$ бўлганлиги учун

$$\frac{d^2Q}{dt^2}+\frac{1}{LC}Q=0 \qquad (14)$$

(14)-контурдаги хусусий тебранишларнинг диффренциал тенгламаси.

Бу ерда циклик частота $\omega=\sqrt{\frac{1}{LC}}$ га тенг.

Бу тенгламанинг ечими $Q=Q_0\sin\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}t+\varphi\right)$ (15)

зарядниг тебраниш тенгламаси.

$$U = \frac{Q_0}{C}\sin\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}t+\varphi\right) = U_0\sin\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}t+\varphi\right) \quad (16)$$

кучланишнинг тебраниш тенгламаси

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{Q_0}{\sqrt{LC}}\cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}t+\varphi\right) = \frac{Q_0}{\sqrt{LC}}\sin\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}t+\varphi+\frac{\pi}{2}\right) = I_0\sin\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}t+\varphi+\frac{\pi}{2}\right) \quad (17)$$

Демак, **заряд, кучланиш, ток** контурда бир хил частотада гармоник равишда тебраниб туради. Бунда **заряд** ва **кучланишнинг** фазаси бир хил бўлиб токнинг фазси **π/2** қийматга фарқ қилади. Электр контуридаги тебранишлар даври **Томсон** формуласидан аниқланади.

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (18)$$

Тебранишларни қўшиш.

Айрим тебранувчи тизимларда жисм бир вақтнинг ўзида бир неча ҳаракатда қатнашиш мумкин. Шунинг учун бундай тизимлардаги жисмнинг натижавий ҳаракатини аниқлаш мухим бўлади.

1. Бир йўналишдаги тебранишларни қўшиш.

Частоталари бир хил, амплитуда ва фазалари фарқ қилгандаги ҳолат. Бу ҳолатда тебранишларнинг ҳаракат тенгламалари

$$y_1 = A_1 \mathrm{Sin}(\omega t + \varphi_1) \qquad y_2 = A_2 \mathrm{Sin}(\omega t + \varphi_2)$$

Тебранишларни векторлар диаграммаси усулидан фойдаланиб қўшиш мумкин. $\vec{A}_1$ ва $\vec{A}_2$ векторлар бир хил **ω** бурчак тезлик билан ҳаракатланиш туфайли фаза силжиши ўзгармас бўлади.

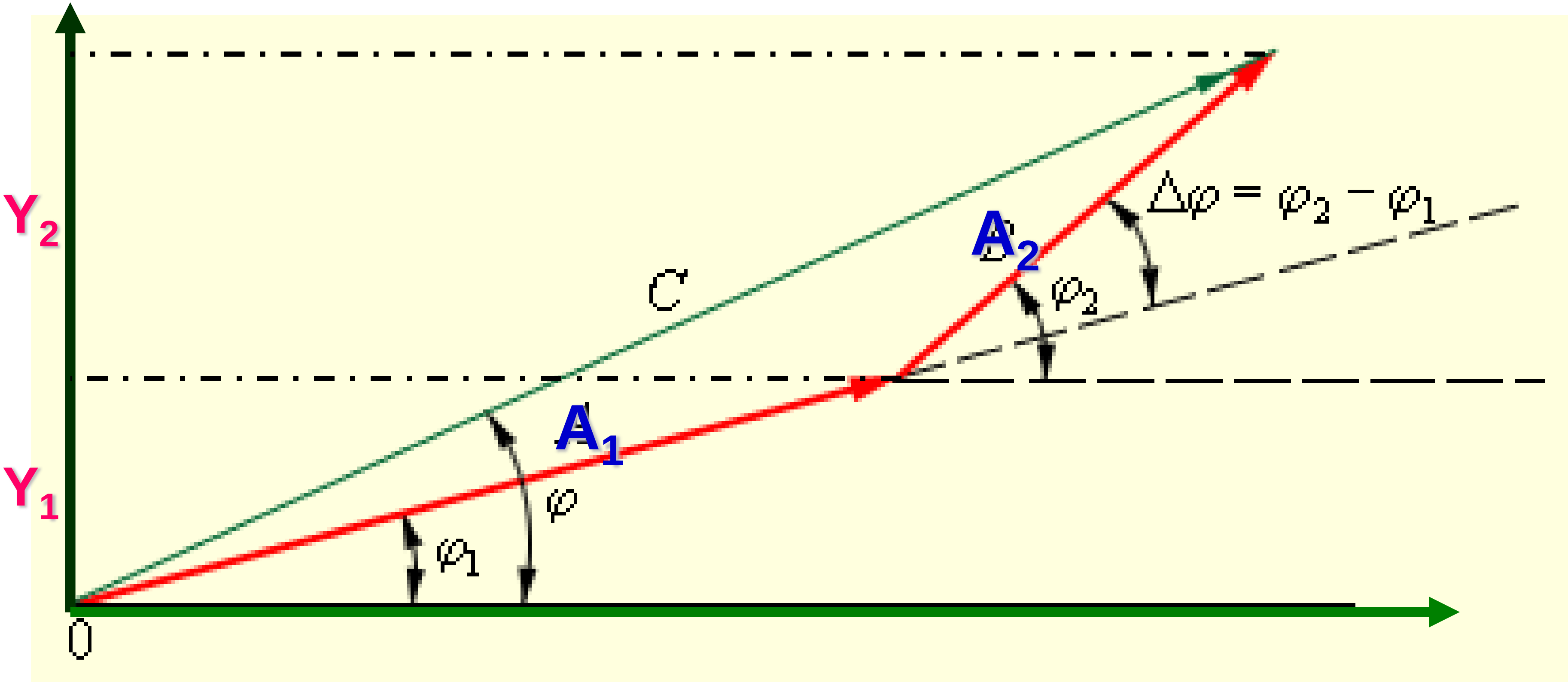
Натижавий тебранишлар тенгламаси

$$y = y_1 + y_2 = A\sin(\omega t + \varphi) \qquad (19)$$

Бунда, $\vec{A} = \vec{A}_1 + \vec{A}_2$ ва **y** хам **ω** бурчак тезлик билан ҳаракат қилади.

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_1 - \varphi_2) \qquad (20)$$

animation



animation

φ нинг қиймати эса

$$tg\varphi = \frac{A_1 \sin\varphi_1 + A_2 \sin\varphi_2}{A_1 \cos\varphi_1 + A_2 \cos\varphi_2} \qquad (21)$$

(20) дан А амплитуда $\varphi_1 - \varphi_2 = m\pi$ ҳолатда **максимал**, $\varphi_1 - \varphi_2 = (2m-1)\frac{\pi}{2}$ ҳолатда эса **минимал** қийматларни қабул қилиши келиб чиқади. (m=0,1,2,3,4,…….).

Натижавий тебранишларга шу йўналишдаги ва шундай даврга эга бўлган 3-чи тебранишнинг қўшилиши шу даврга эга гармоник тебранишлар ҳосил қилади. Тебранишларнинг частота, амплитуда ва бошланғич фазалари фарқ қилиб, улар бир йўналишда тебранганда $y_1=A_1Sin(\omega t+\varphi_1)$, $y_2=A_2Sin(\omega t+\varphi_2)$ $A_1 = A_2 = A_0$, $\varphi_1=\varphi_2=\varphi_o$ $\omega_1\approx\omega_2$ деб қабул қиламиз. Бундан тебранишларни аналитик йўл билан қўшиш мумкин (бурчак тезликлар фарқ қилиш сабабли, вектор диаграммалар усули ноқулай ҳисобланади).

Натижавий тебранишлар тенгламаси

$$y = y_1 + y_2 = 2A_0 \cos\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \sin\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t + \varphi\right) \quad (22)$$

$A = \left|2A_0 \cos\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t\right|$ - **кўпайтма натижавий тебранишлар амплитудаси.**

Амплитуда вақтга ва частоталар фарқининг ярмига тенг бўлган қийматдаги частотага боғлиқ бўлади. Узилмаган чизиқлар силжишни, узилган чизиқлар эса амплитудани ўзгаришини тасвирлайди. Амплитудаси вақт бўйича ўзгариб турувчи тебранишлар **тепкили тебранишлар** дейилади.

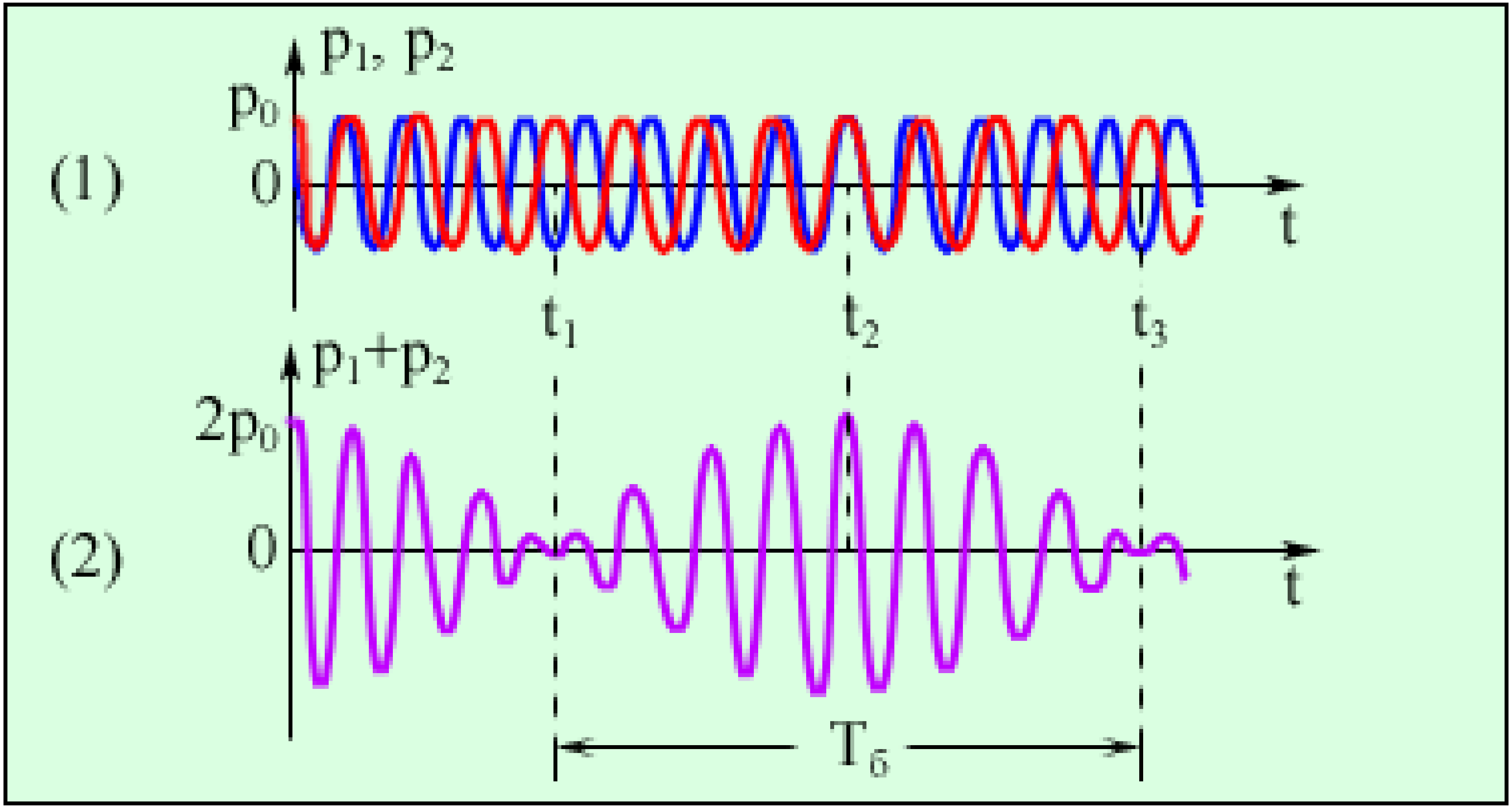
animation

Агар ташкил этувчи тебранишлар амплитудаси тенг бўлмаса, натижавий тебранишлар амплитудаси 0 гача камаймасдан. Маълум бир минимум орқали ўтади.

$$y = y_1 + y_2 = 2A_0 \cos\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \sin\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t + \varphi\right)$$ ни $y = 2A_0 \cos\Omega t \sin \omega t$

кўринишида ёзиш мумкин, $\Omega = 2\pi\nu = \dfrac{\omega_1 - \omega_2}{2}$, $\nu = \dfrac{\nu_1 - \nu_2}{2}$, яъни циклик частота $\omega = |\omega_1 - \omega_2|$, $\nu = |\nu_1 - \nu_2|$ частотага мос келади. Бир марта тўла тебранганда амплитуда **2 марта максимумга** эришади. Тепкилар товуш ва электр тебранишларида учраб туради.

animation



(1)
p_1, p_2
p_0
0
t
t_1
t_2
t_3
(2)
p_1+p_2
$2p_0$
0
t
T_6

2. Ўзаро перпендикуляр тебранишларни қўшиш.

Агар моддий нуқта бир вақтнинг ўзида x ва y ўқлари бўйлаб тебранаётган бўлса

$$y = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1),\ x = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2) \qquad (23)$$

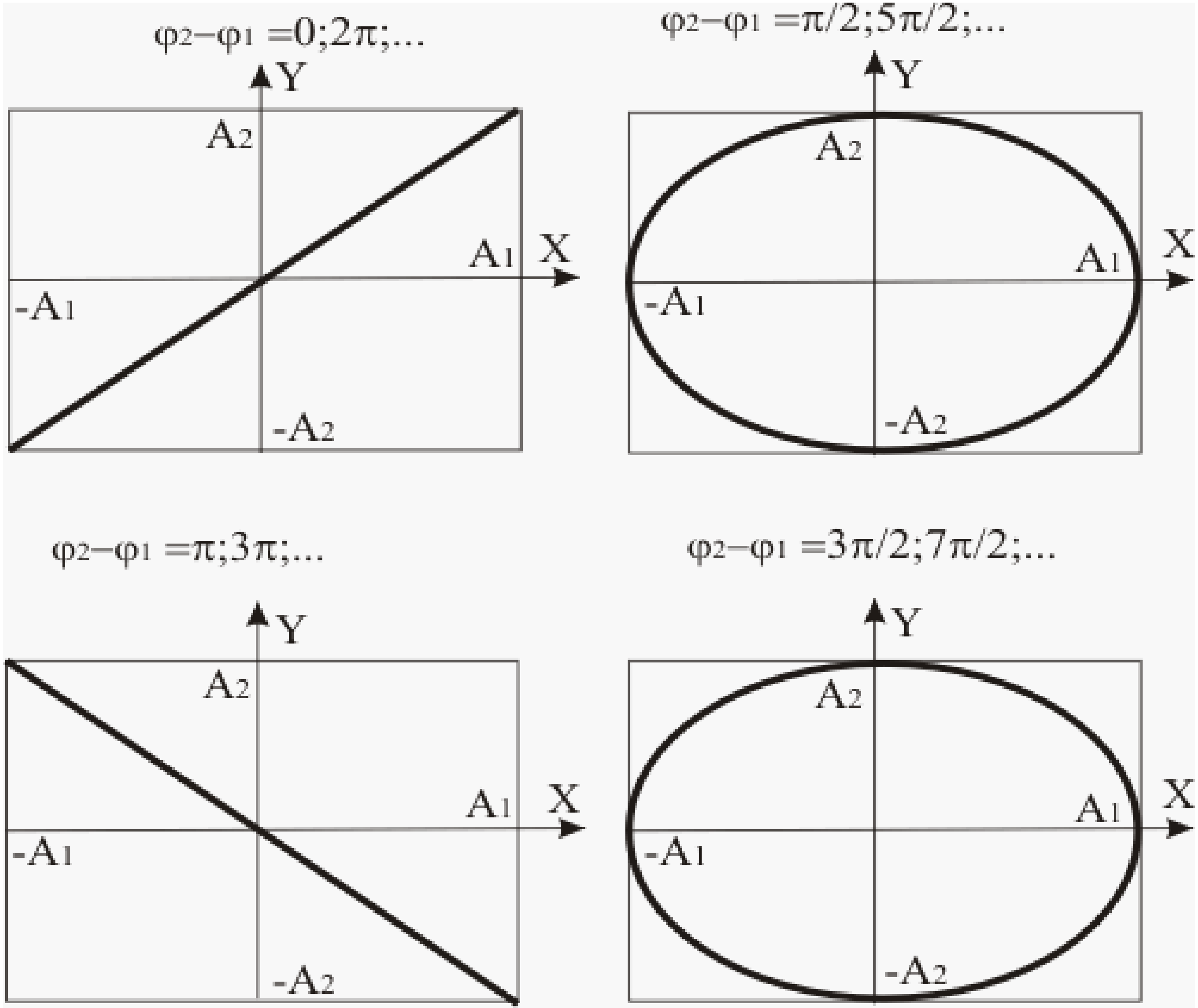
$\varphi_2 - \varphi_1 = \Delta\varphi$ – тебранишларнингфазалар фарқи нуқта траекториясининг тенгламаси

$\dfrac{y}{A_1} = \sin(\omega t + \varphi_1),\ \dfrac{x}{A_2} = \sin(\omega t + \varphi_2)$ вақт t ни чиқариб ташласак

$$\frac{y^2}{A_1^2} + \frac{x^2}{A_2^2} + \frac{2xy}{A_1 A_2}\cos(\varphi_2 - \varphi_2) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1) \qquad (24)$$

(24) - формула эллипс тенгламаси бўлиб, қуйидаги хусусий ҳоллар учун кўриб чиқилади: 1) $\Delta\varphi=0$. Бу ҳолатда $\dfrac{y}{A_1} = -\dfrac{x}{A_2}$,

$y = -\dfrac{A_1}{A_2}x$ ҳосил бўлади ва тўғри чизиқдан иборат бўлган траектория ҳосил бўлади .


φ2−φ1 =0;2π;...
Y
A2
A1
X
-A1
-A2
φ2−φ1 =π/2;5π/2;...
Y
A2
A1
X
-A1
-A2
φ2−φ1 =π;3π;...
Y
A2
A1
X
-A1
-A2
φ2−φ1 =3π/2;7π/2;...
Y
A2
A1
X
-A1
-A2

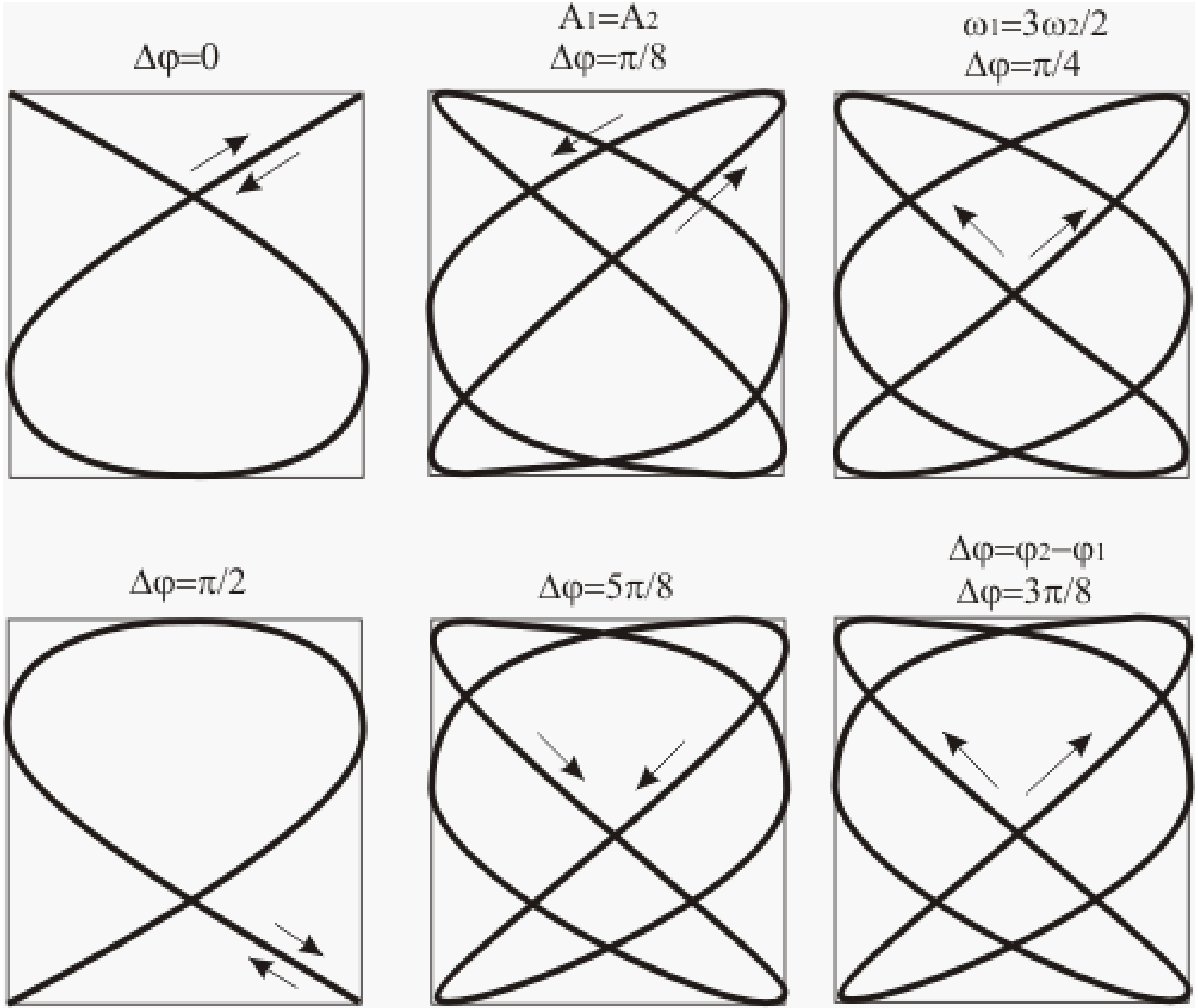
Нуқтанинг кўчиши $r = \sqrt{A_1^2 + A_2^2} \cdot \sin \omega t$, $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}$

2) $\Delta\varphi = \pi$. $\frac{y^2}{A_1^2} + \frac{x^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} = 0$. $y = \frac{A_1}{A_2} x$ (10-расм)

3) $\Delta\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$ $\quad \frac{y^2}{A_1^2} + \frac{x^2}{A_2^2} = 1$ ва эллипс тенгламаси ҳосил бўлади (11-расм)

$A_1 = A_2$ ҳолатда ҳаракат траекторияси айланадан иборат бўлади. Тебранишлар даври бир хил, аммо фазалар фарқи $\frac{\pi}{2}$ га тенг бўлганда траектория эгилган эллипсдан иборат бўлади.

Даври ва фазалари фарқ қилувчи тебранишлар қўшилганда натижавий тебранишлар траекторияси мураккаб кўриниш олади ва улар Лесажур фигуралари дейилади.


Δφ=0
A1=A2
Δφ=π/8
ω1=3ω2/2
Δφ=π/4
Δφ=π/2
Δφ=5π/8
Δφ=φ2−φ1
Δφ=3π/8

Ma’ruzani tayyorlashda foydalanilgan dasturlar, linklar va adabiyotlar

- Microsoft Power Point
- Macromedia Flash MX Professional 2004
- “Otkritaya fizika” ch.1. kompaniya «Fizikon»
- Savelev I. V. Kurs fiziki. M.: Nauka 1989 t.1

- E’tboringiz uchun rahmat!
-