

А. К. КИКОИН, С. Я. ШАМАШ, Э. Е. ЭВЕНЧИК

# МЕХАНИК ТЕБРАНИШЛАР ВА ТЎЛҚИНЛАР

---

«УЎҚИТУВЧИ»

[www.Orbita.Uz](http://www.Orbita.Uz) kutubxonasi

К40

Кикоин А. К. ва бошқ.

Механик тебранишлар ва тўлқинлар: Урта мактаб 8-синф физика дарслигига қўшимча (А. К. Кикоин, С. Я. Шамаш, Э. Е. Эвенчик.)— Т.: Ўқитувчи, 1988.— 32 б.

I. 1,2 Автордош.

Кикоин А. К. и др. Механические колебания и волны: Вкладыш к учебнику физики для 8-го класса ср. школы.

ББК 22.3я721

4306021100—152

К 353(04)—88 — Инф. п.—88

353(04)—88

ISBN 5—645—00227—X

© Издательство «Просвещение» 1986

© Ўзбек тилига таржима, «Ўқитувчи» нашриёти, 1988 й.

## Механик тебранишлар

### Такрорланадиган ҳаракат

Тебранма ҳаракатлар ёки оддийроқ қилиб айтганда, тебранишлар деб аталадиган ўзига хос ҳаракатлар ҳаммага маълум. Бундай ҳаракатлар бизни қуршаб олган атроф-муҳитда кенг тарқалган. Шамол пайтида дарахт шохлари, бир учи исканжага маҳкамланган металл пластинка, вертикал ҳолатдан четга оғдирилган арғимчоқ, ҳаракатланаётган рессорли вагонлар ва ҳоказолар тебранади. Масалан, пружинага осилган юк вертикал йўналишда туртиб юборилганда, у тебранма ҳаракат қилади. Шунингдек, пружинага маҳкамланган жисм ҳам горизонтал йўналишда туртиб юборилганда тебранма ҳаракатга келади (қ. дарсликда 108, 109-расмлар). Туртиб ўз ҳолига қўйиб юборилгандан кейин юк юқорига-пастга ёки ўнгга-чапга ҳаракатланади. Бу ҳаракат — тебранма ҳаракатдир. Тебранишлар деб, жисмнинг навбатма-навбат гоҳ бир, гоҳ бошқа томонга оғадиган ҳаракатига айтилади. Мазкур ҳаракатнинг асосий хусусияти — унинг *даврийлигидир*. Ҳаракатнинг даврийлиги тебраниш даври деб аталадиган маълум вақт оралиғида жисмнинг ҳолати, яъни унинг координатаси аниқ ёки тахминан такрорланишини англатади.

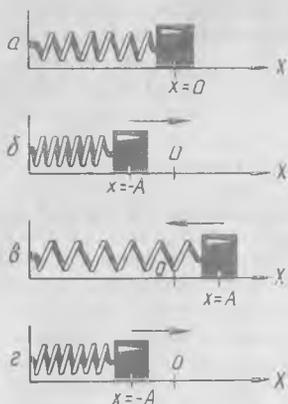
### 1. Пружинага маҳкамланган жисмнинг тебраниши

«Физика-8» дарслигининг 34-§ да кўрсатилганидек, жисмга эластиклик кучи таъсир этганда у тебранади, бошқа кучлар эса ёки мувозанатлашган, ёки умуман бўлмайди. Бундай кучга типик мисол қилиб чўзилган ёки сиқилган пружинани кўрсатиш мумкин. Шунинг учун биринчи навбатда пружинага маҳкамланган жисмнинг тебранишини қараб чиқамиз.

1-а расмда пружина ва унга маҳкамланган жисм кўрсатилган. Пружина ҳозирча деформацияланмаган (сиқилган ҳам, чўзилган ҳам эмас), жисмга эластиклик кучи таъсир этмаяпти. Жисм билан таянч орасидаги ишқаланиш кучи жуда кичик деб ҳисоблаймиз. Оғирлик кучи таянчнинг реакция кучи билан мувозанатлашган ва шунинг учун жисм мувозанат ҳолатда турибди.

Х координата ўқини таянч бўйлаб йўналтирамиз, саноқ боши сифатида эмас мувозанат ҳолатда бўлган жисмнинг  $X$  ўқдаги масса маркази ўрнини белгилувчи нуқтани ( $x = 0$ ) қабул қиламиз.

Жисмни мувозанат ҳолатдан чапга бирор  $A$  масофага силжитамиз. Бунда пружина сиқилади (1-б расм) ва жисмга ўнг томонга йўналган эластиклик кучи таъсир этади. Агар жисм қўйиб юборилса, у мувозанат ҳолатгача ўнг томонга йўналган тезланиш билан ҳаракатланади. Бироқ жисм мазкур ҳолатда тўхтаб қолмайди, балки инертлиги туфайли унинг ҳаракати ўнг томонга қараб давом этади. Бунда пружина чўзила бошлайди ва жисмга таъсир этувчи чапга йўналган эластиклик кучи аста-секин ортиб боради. Шу туфайли жисмнинг тезлиги камайиб боради, ва ниҳоят тўхтайдди. Энди пружина максимал масофага чўзилган ҳолатда бўлади, тажрибанинг кўрсатишича, бу масофа ҳам  $A$  га тенг (1-в расм). Бу ҳолатда жисмга чап томонга йўналган макси-



1- расм.

мал куч таъсир этади. Жисм бир он тух ташдан сўнг яна чап томонга қараб ҳаракатлана бошлайди. Натижада жисм яна мувозанат ҳолат орқали ўтади (энди ўндан чап томонга қараб) ва яна  $A$  масофа четга чиқади, яъни ўз ҳаракатини бошлаган нуқтага қайтади (1-  $\delta$  расм). Битта тебраниш тугайди ва ҳамма жиҳатдан унга ўхшаш навбатдаги тебраниш бошланади.

Тебранаётган жисм траекториясининг исталган нуктасида эластиклик кучи мувозанат ҳолат томонга, яъни оғиш йўналишига қарши йўналганлиги кўриниб турибди. Эластиклик кучи оғиш  $x$  га пропорционал бўлиб, унинг  $X$  ўққа проекцияси:  $F_x = -kx$ . Жисмнинг мувозанат ҳолатдан оғиши *силжиш* деб аталади.

Силжишга пропорционал ва унга қарама-қарши йўналган куч таъсири остида содир бўладиган механик тебранишлар *гармоник тебранишлар* деб аталади.

**Тебраниш амплитудаси.** Пружинага маҳкамланган жисм ҳаракатининг тафсилотидан шу нарса кўринадики, тебранаётган жисмнинг координата санок бошидан узоклашиш масофаси  $A$  дан ортиқ бўлмайди. Жисмнинг мувозанат ҳолатидан модули бўйича энг катта силжишига *тебраниш амплитудаси* деб аталади. Тебранаётган жисмга ишқаланиш кучи таъсир этмаса, тебраниш амплитудаси ўзгармайди. Амплитуда фақат жисмга, дастлаб унинг мувозанат ҳолатдан қанча оғиш берилганига боғлиқдир.

**Тебранишлар даври ва частотаси.** Бир марта тўла тебраниш учун маълум вақт талаб этилади.

Бир марта тўла тебранишнинг давом этиш вақти *тебраниш даври* деб аталади. Тебраниш даври  $T$  ҳарф билан белгиланади ва у секунда ҳисобида ифодаланади.

Тебранишлар, шунингдек, частота билан ҳам характерланади. *Тебранишлар частотаси* — вақт бирлигидаги тебранишлар сонидир. Масалан, тебраниш даври  $0,1$  с га тенг бўлса, у ҳолда частота

$$\frac{1}{0,1 \text{ с}} = 10 \text{ тебраниш/с экани тушунарлидир.}$$

Частота бирлиги қилиб шундай тебраниш частотаси қабул қилинадики, бунда  $1$  с да бир марта тўла тебраниш содир бўлади. Бундай бирлик герц деб аталади (қисқача Гц) :  $1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$ .

Частота грекча  $\nu$  ҳарфи билан белгиланади. Тебраниш даври  $T$  ва частота  $\nu$  орасида жуда содда боғланиш мавжуд: частота даврга нисбатан тескари катталиқдир, худди шунингдек, давр частотага нисбатан тескари катталиқдир:

$$\nu = \frac{1}{T}; \quad T = \frac{1}{\nu}$$

**Тебранма ҳаракатда тезлик ва тезланиш.** Бошқа ҳаракатлар сингари тебранма ҳаракат ҳам тезлик ва тезланиш билан характерланади. Бироқ тебранма ҳаракатда бу икки катталиқ бир нуқтадан бошқа бир нуқтага, бир вақт моментидан бошқа бир вақт моментига қадар *ўзгаради*. Масалан, тебранаётган жисмнинг мувозанат ҳолатидан максимал оғиш нуқталаридаги ( $x = A$  ва  $x = -A$  даги)

тебраниш тезлиги нолга тенг. Бу нуқталарда жисм тўхтайтиди, сўнгра тескари йўналишларда ҳаракатланади. Мувозанат ҳолат орқали ўтаётганда ( $x = 0$ ) жисмнинг тезлиги максимал бўлади. Аксинча, мувозанат ҳолат орқали ўтиш momentiда жисмнинг тезланиши нолга тенг бўлади, чунки ушбу ҳолатда куч нолга тенг. Мувозанат ҳолатдан максимал оғишга мос нуқталарда ( $x = A$  ва  $x = -A$  да) эса эластиклик кучи максимал бўлгани туфайли тезланиш максимал бўлади. Шундай қилиб, тебранма ҳаракатда тезлик ва тезланиш даврий ўзгариб туради: ҳар бир  $T$  давр орасида тезлик вектори йўналиши ва модули бўйича такрорланиб туради.

## Саволлар

1. Қандай ҳаракат тебранма ҳаракат деб аталади? Тебранма ҳаракатнинг бошқа тур ҳаракатлардан асосий фарқи нимадан иборат?
2. Тебраниш амплитудаси нима?
3. Тебраниш даври ва частотаси ўзаро қандай боғланган?
4. Тебранаётган жисм траекториясининг қайси нуқталарида тезлик нолга тенг? Қайси нуқталарида тезланиш нолга тенг?
5. Тебранаётган жисмнинг тебраниш даврига бўлган вақт ичида силжиши нимага тенг? Шу вақт мобайнида жисм босиб ўтган йул нимага тенг?
6. Қандай тебранишлар гармоник тебранишлар деб аталади?

## 2. Тебранма ҳаракатда жисм энергияси

Пружинага маҳкамланган жисм ҳаракатини кўриб чиқдик. Агар дастлаб, жисмни мувозанат ҳолатдан  $A$  масофага, масалан, чап томонга узоқлаштирсак, у ҳолда жисм мувозанат ҳолати орқали ўтиб ўнгга,  $A$  масофага узоқлашади. Биз жисмнинг ўнг томонга ҳам  $A$  масофага узоқлашишини тажриба асосида тасдиқлаб олдик. Нима учун тебранишларда ўнгга ва чапга оғишлар албатта бир хил бўлиши керак? Бу энергиянинг сақланиш қонунидан келиб чиқар экан.

«Физика-8» дарслигининг 9- бобидан маълумки, сиқилган ёки чўзилган эластик пружинанинг потенциал энергияси  $\frac{kx^2}{2}$  га тенг, бунда  $k$  — пружинанинг бикрлиги ва  $x$  — унинг узайишидир. Бизнинг ҳолда жисмнинг чап томонга пружинанинг узайиши  $x = -A$  ва демак, системанинг потенциал энергияси  $\frac{kA^2}{2}$  га тенг. Бу вақт momentiда кинетик энергия нолга тенг, чунки мазкур ҳолда жисмнинг тезлиги нолга тенгдир. Демак,  $\frac{kA^2}{2}$  потенциал энергия берилган вақт momenti учун системанинг *тўлиқ энергиясидир*. Шартимизга кўра, ташқи кучлар, жумладан ишқаланиш кучи нолга тенг бўлгани учун системани ёпиқ деб ҳисоблаш мумкин. Шу туфайли унинг ҳаракатдаги тўлиқ энергияси ўзгармайди. Қачонки, жисм ўз ҳаракати мобайнида ўнг томондаги четки ҳолатда бўлса, унинг кинетик энергияси яна нолга тенг бўлади. Тўла энергия яна потенциал энергиядан ташкил топади. Тўлиқ энергия ўзгариши мумкин эмас. Демак, тўла энергия яна  $\frac{kA^2}{2}$  га тенг. Ушбу ҳол жисм ўнг томонга ҳам  $A$  (тебраниш амплитудаси) га тенг бўлган масофага силжишини билдиради.

Мувозанат ҳолатда, аксинча, потенциал энергия нолга тенг, чунки  $x = 0$  (пружина деформацияланмаган). Мазкур ҳолда жисмнинг тўла энергияси унинг  $\frac{mv_m^2}{2}$  кинетик энергиясига тенг бўлади, бунда  $m$  — жисмнинг массаси,  $v_m$  — унинг шу вақтдаги максимал тезлиги. Бироқ мазкур кинетик энергия ҳам  $\frac{kA^2}{2}$  га тенг қийматга эга бўлиши керак:

$$\frac{mv_m^2}{2} = \frac{kA^2}{2}.$$

Демак, тебранма ҳаракатда кинетик энергиянинг потенциал энергияга ва аксинча айланиши содир бўлади. Жисмнинг мувозанат ҳолати билан максимал силжиш оралиғидаги исталган нуқтада жисм ҳам кинетик, ҳам потенциал энергияга эга, бироқ уларнинг йиғиндиси, яъни жисмнинг исталган ҳолатидаги тўлиқ энергияси  $\frac{kA^2}{2}$  га тенг.

**Тебранаётган жисмнинг тўлиқ энергияси унинг тебраниш амплитудаси квадратига пропорционалдир.** Бу ҳол пружинага маҳкамланган жисм тебранма ҳаракатининг муҳим хусусиятларидан биридир.

Энергиянинг сақланиш қонунидан фойдаланиб тебраниш амплитудаси ва тебранаётган жисмнинг максимал тезлиги орасидаги оддий муносабатни осонгина ҳосил қилиш мумкин (бу муносабат бизга кейинчалик керак бўлади).

Уқорида кўрдикки,  $\frac{mv_m^2}{2} = \frac{kA^2}{2}$ . Бундан

$$\frac{A^2}{v_m^2} = \frac{m}{k} \text{ ёки } \frac{A}{v_m} = \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

## Саволлар

1. Тебранаётган жисм траекториянинг қайси нуқталарида фақатгина кинетик энергияга эга бўлади?
2. Тебранаётган жисм траекториянинг қайси нуқталарида фақатгина потенциал энергияга эга бўлади?
3. Тебранаётган жисмнинг тула энергияси траекториянинг исталган нуқтасида нимага тенг бўлади?
4. Пружинага маҳкамланган жисмнинг тебраниш амплитудаси билан унинг максимал тезлиги орасида қандай боғланиш бор?

## 3. Тебранма ҳаракатнинг геометрик модели

Тебранма ҳаракат — даврий ҳаракатдир. Шунинг учун тебраниш даврини ҳисоблаш формуласини келтириб чиқариш лозим. Бу формулани пружинага маҳкамланган жисм тебраниши ва унга ўхшаш айлана бўйлаб ҳаракатланаётган шарча соясини биргаликда қараш орқали ҳосил қилиш мумкин.

Фараз қилайлик, кичкина  $M$  шарча  $V$  тезлик билан айлана бўйлаб текис ҳаракатлансин. Айлана радиуси пружинага маҳкамланган жисмнинг тебраниш амплитудасига тенг ( $R = A$ ) бўлсин. Шарчанинг айлана бўйлаб ҳаракати ҳам даврий ҳаракатдир. Чунки шарча ҳам

маълум  $T$  вақт оралигидан сўнг (айланиш даври) яна дастлабки жойида бўлади. Бироқ бу ҳаракат тебранма ҳаракат эмас. Пружинага маҳкамланган жисм гоҳ «у томонга» ва гоҳ «бу томонга» ҳаракатланади. Шарча эса соат стрелкаси ҳаракати бўйлаб ёки унга тескари ҳолда ҳамма вақт «бир томонга» қараб ҳаракатланади.

Биз шарчанинг ҳаракатини эмас, балки унинг ён томондан ёритиш натижасида вертикал экранда ҳосил бўлган соясининг ҳаракатини қараб чиқамиз (2- расм). Мазкур соя шарчанинг экранга бўлган проекциясини ифодалайди. Шарчанинг сояси горизонтал чизиқ бўйлаб тебранма ҳаракатда бўлишини кўрамиз. Соянинг тебраниш даври шарчанинг айланиш даври билан бир хил бўлади.

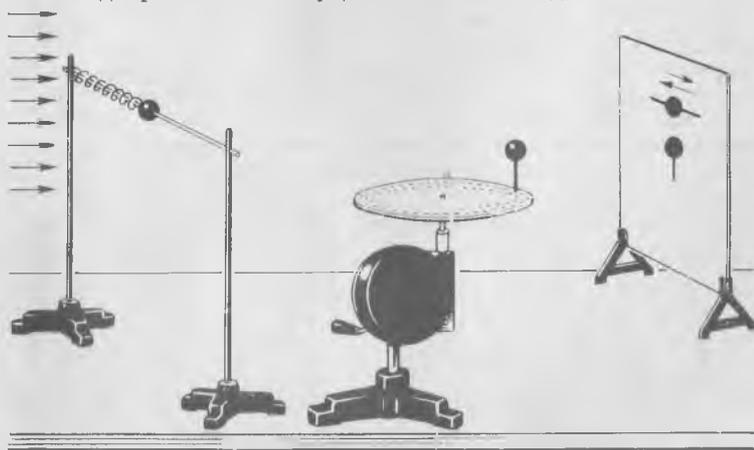
Мазкур ҳаракат пружинадаги юкнинг тебранишига айнан ўхшайди. Бунга ишонч ҳосил қилиш учун ўша экраннинг ўзида пружинага маҳкамланган юк тебранишининг соясини ҳосил қиламиз (3- расм).

Юкни мувозанат ҳолатидан шарча ҳаракатланадиган айлана радиуси  $A$  га тенг бўлган масофага оғдирамиз. Шарчанинг айланиш тезлигини ўзгартириш билан унинг айланиш даврини юкнинг тебраниш даврига тенглаштиришга эришамиз. Мазкур ҳолда шарча ва юкларнинг экрандаги соялари бир хилда тебранаётганини аниқ кўрамиз. Уларнинг тебраниш давлари, мувозанат ҳолатдан четга силжишлари, демак, исталган вақт моментидagi тезликлари бир хилдир. Демак, айлана бўйлаб ҳаракатланаётган шарча соясининг тебраниши пружинага маҳкамланган юкнинг тебраниши билан айнан ўхшашдир. Мактаб шароитларида мазкур тажрибани вертикал жойлаштирилган пружинага осилган (4- расм) юк билан осон амалга ошириш мумкин.

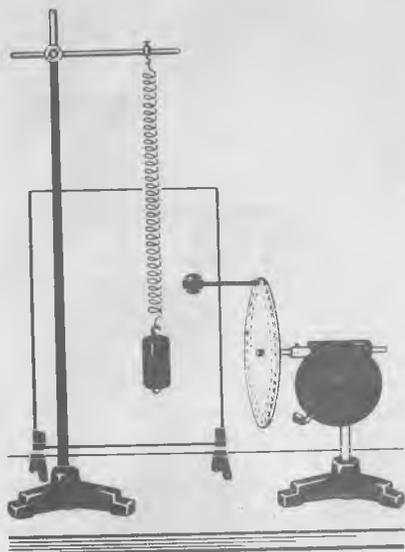
**Тебраниш даври.** Шарча соясининг, демак, пружинага осилган юкнинг тебраниш даври айлана бўйлаб ҳаракатланаётган шарчанинг айланиш даврини билиш орқали осон топилади.



2- расм.



3- расм.



4- расм.

Маълумки, айлана бўйлаб ҳаракатланаётган шарчанинг айланиш даврини айлана узунлиги ( $2\pi A$ ) ни унинг тезлиги ( $V$ ) га нисбати орқали топиш мумкин:

$$T = \frac{2\pi A}{V}$$

Бироқ тебранма ҳаракатда иштирок этаётган шарчанинг  $V$  тезлиги нимага тенг эканлигини билиш учун 5- расмда келтирилган тажриба схемасига мурожаат қиламиз (қ. 3- расм). 5- расмда шарча айлана бўйлаб текис ҳаракат давомида  $B$ ,  $C$ ,  $O$  ҳолатларни кетма-кет эгаллаб боради. Бунда ( $V$ ) тезлик модуллари бир хил бўлади. Шу вақтда шарчанинг экрандаги сояси  $B'$ ,  $C'$ ,  $O'$  нуқталар орқали ўтади. Бунда мазкур соянинг тезлиги  $B'$  нуқтада нолдан  $O'$  нуқтада ўзининг максимал ( $v_m$ ) қийматига эришади.

Шарча ва унинг сояси тезликлари бир хил йўналишга эга бўлган  $O$  ва  $O'$  нуқталарда  $V = v_m$  бўлади. Чунки шарчанинг сояси шарчанинг ўзидан ўзиб кетиши ёки ундан қолиб кетиши мумкин эмас.

Экрандаги шарча сояси ва тебранаётган юк сояси тезликлари исталган нуқталарда тенг эканлиги тажриба йўли билан аниқланганлигини (қ: 3- расм) эслатиб ўтамиз. Демак,  $v_m$  тезлик пружинага маҳкамланган юкнинг максимал тезлиги бўлиши ҳам мумкин экан.

Шундай экан, пружинага осилган юкнинг тебраниш даври формуласини

$$T = \frac{2\pi A}{v_m}$$

кўринишда ёзиш мумкин.

Илованинг 2- § да тебраниш амплитудасининг унинг максимал тезлигига нисбати  $\frac{A}{v_m} = \sqrt{\frac{m}{k}}$  га тенг эканини кўрган эдик.

$\frac{A}{v_m}$  нинг қийматини олдинги ифодага қўйиб, пружинага маҳкамланган юкнинг тебраниш даври формуласини ҳосил қиламиз:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

Демак, тебранаётган жисм массаси ортиши билан тебраниш даври ортади ва пружинанинг бикрлиги ортиши билан эса камаяди. Тебраниш даврининг амплитудага боғлиқ эмаслиги жуда яхшидир.

**Вақт ўтиши билан тебранаётган жисм координатаси қандай ўзгаради?** (Таништириб ўтиш учун.) Тебранма ҳаракат учун ҳам механиканинг асосий масаласи ечилган бўлиши керак: вақт ўтиши билан тебранаётган жисм координатаси қандай ўзгаришини кўрсатадиган формулага эга бўлиш лозим.

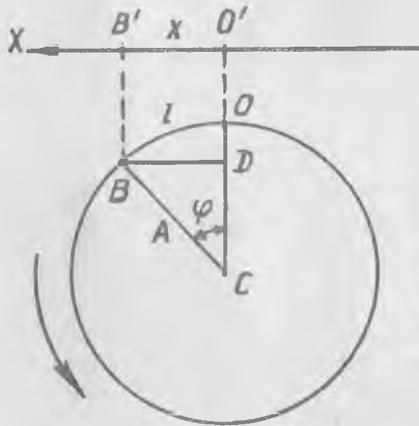
Яна айлана бўйлаб ҳаракатланадиган шарча ва унинг сояси ҳаракатига (унинг вертикал экрандаги проекциясига) мурожаат қиламиз. Фараз қилайлик, шарча қандайдир вақт momentiда  $O$  нуқтада (6-расм), унинг сояси эса  $O'$  нуқтада бўлсин.  $O$  нуқтадан  $A$  радиус ўтказамиз. Шарча айлана бўйлаб ҳаракатланиб, бирор  $t$  вақт оралиғидан кейин  $B$  нуқтада, унинг сояси эса координатанинг sanoқ боши  $O'$  дан  $x$  масофада бўлади.  $B$  нуқтага ҳам радиус ўтказамиз. Шарча  $O$  нуқтадан  $B$  нуқтага ҳаракатланганда унга ўтказилган радиус  $\varphi$  бурчакка бурилади.

6-расмдан силжиш  $x = BD$  экани кўриниб турибди. Шунга кўра  $BCD$  учбурчакдан  $x = A\sin\varphi$  деб ёзиш мумкин.

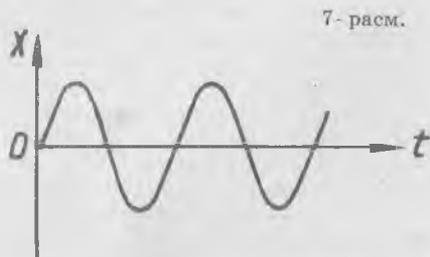
Алгебрадан (VII синф) маълумки,  $\varphi$  бурчак радианларда ифодаланганда ёй узунлиги  $l$  нинг айлана радиуси  $A$  га нисбатига тенг бўлади:

$$\varphi = \frac{l}{A}.$$

Айлана бўйлаб текис ҳаракатда ёй узунлиги жисмнинг ( $V$ ) айланиш тезлиги билан  $l = V \cdot t$  кўринишида боғлангандир.  $V = \frac{2\pi A}{T}$  бўлгани учун  $l = \frac{2\pi A}{T} t$ .



6-расм.



7-расм.

Демак,  $\varphi = \frac{2\pi}{T} t$ , У ҳолда:  $x = A \sin \frac{2\pi}{T} t$ .

Бу формула вақт ўтиши билан тебранаётган жисм координатасини қандай ўзгаришини кўрсатади. Мазкур ҳаракат учун координата  $x$  нинг вақт  $t$  га боғлиқлик графигини *синусоида* деб аталувчи (7- расм) эгри чизиқ кўрсатади.

## Саволлар

1. Пружинага маҳкамланган жисм ҳаракати ва айлана бўйича ҳаракатланаётган шарча сояси ўртасидаги ўхшашлик нимадан иборат?

2. (1) формуладаги катталикларнинг маъноси қандай?

## Масала ечиш намунаси

Бикрлиги  $k = 100$  Н/м бўлган спираль пружинага  $m$  массали юк осилган. Агар мазкур система мувозанат ҳолатидан четга чиқарилса, жисм минутига 300 марта тебранади. Жисмнинг массаси қанчага тенг?

Е ч и л и ш и. Жисмнинг массасини  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$  формула ёрдамида ҳисоблаб топиш мумкин:

$$m = \frac{T^2 k}{4\pi^2}; T = \frac{1}{v} \text{ бўлганидан, } m = \frac{k}{4\pi^2 v^2}.$$

Масала шартда берилган катталиклар қийматларини ўрнига қўйиб, ҳисоблаймиз:

$$m = \frac{100 \text{ Н/м}}{4 \cdot (3,14)^2 \cdot 25\text{с}^2} \approx 0,1 \text{ кг.}$$

1- машқ.

1. Юкнинг массаси 100 г, пружинанинг бикрлиги 40 Н/м бўлганда пружинага осилган юкнинг тебраниш частотаси қанчага тенг?

2. Массаси 30 г бўлган юк маҳкамланган пружина 1 минутда 300 марта тебранади. Пружинанинг бикрлиги қанчага тенг?

3. Пружинага маҳкамланган жисм бирор  $T$  давр билан тебранмоқда. Агар жисм массаси 60 г ортса, тебраниш даври икки марта ортади. Жисмнинг дастлабки массаси қанчага тенг?

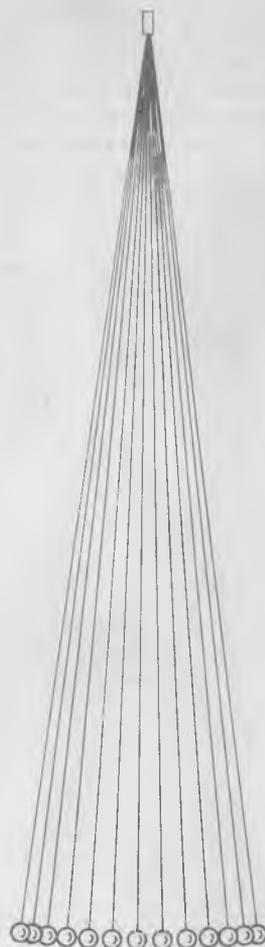
## 4. Математик маятник

Биз жисмнинг эластиклик кучи таъсири остида содир бўладиган гармоник тебранишлари билан танишдик. Мазкур куч учун шу нарса характерлики, бунда жисм ҳаракати траекториясининг исталган нуқтасида куч мувозанат ҳолат томон йўналган бўлади; бу куч гўё жисмни аввалги вазиятига қайтаришга интилаётгандек бўлади. Бироқ гармоник тебранишлар фақатгина эластиклик кучи таъсири остида бўлади, десак бўладими? Йўқ, бўлмайди. Ҳаракат траекториясининг исталган нуқтасида мувозанат томон йўналган модули жиҳатдан силжишга пропорционал бўлган ҳар қандай куч жисмнинг гармоник тебранма ҳаракатда бўлишига мажбур қилади.

Фақат эластиклик кучи таъсирига боғлиқ бўлмаган тебранма ҳаракатга муҳим ва қизиқарли мисол сифатида маятник — бир учи маҳкамланган ипнинг иккинчи учига осилган юкни келтириш мумкин. Агар маятникдаги жисм (юк) ипнинг узунлигига нисбатан жуда кичик ўлчамга эга бўлса, ипнинг массаси эса юкнинг массаси билан солиштириганда ҳисобга олинмайдиган даражада кичик бўлса, у ҳолда бундай маятник *математик маятник* деб аталади. Амалда узун ипга осилган кичик ўлчамдаги оғир шарча ўзини математик маятник сифатида намоён этади.

Ип вертикал ҳолатни эгаллаганда маятник тинч ҳолатда бўлади. Буни мувозанат ҳолат дейилади. Агар маятникни четга тортиб туриб қўйиб юборилса, у тебрана бошлайди.

Биринчи қарашда маятникнинг ҳаракати пружинага маҳкамланган жисм ҳаракатига унчалик ўхшамайди. Пружинадаги жисм тўғри чизиқ бўйлаб, маятник эса ёй бўйлаб ҳаракатланади. Агар маятник кичик бурчакка оғдирилса, унда ипга осилган юк ҳаракати деярли ватар бўйича ҳаракатдан жуда кам фарқ қилади. Бунга кичик бурчакка оғдирилган (8- расм) маятник тебранишини стробоскопик усулда олинган расмни кузатиш орқали ишонч ҳосил қилиш мумкин. Худди ана шу ҳолда маятник ҳаракати пружинага маҳкамланган жисм ҳаракатига ўхшаб кетади («жисм — пружина» системасини кўпинча *пружинали маятник* деб юритилади). Бунинг учун амалда маятникнинг вертикалдан оғиш бурчаги  $5-8^\circ$  дан ошмаслиги керак.



8- расм.

Математик маятникни тебранишга мажбур этувчи кучларни қараб чиқиб, математик ва пружинали маятникларнинг ўхшашлиги сабабларини аниқлай оламиз.

Маятник тебранишини юзага келтирувчи куч. Мувозанат ҳолатда юкка  $F_0$  оғирлик кучи ва  $\vec{F}_s$  эластиклик кучи (9- расм) таъсир қилади. Маятникнинг мувозанати мазкур кучларнинг модули жиҳатдан тенг ва йўналишлари бўйича қарама-қарши эканини кўрсатади. Мана маятник  $\varphi$  бурчакка четга оғдирилган (10- расм). Юкка аввалгидек ўша кучлар таъсир этади, бироқ уларнинг  $\vec{F}$  тенг таъ-



9- расм.

сир этувчиси нолга тенг эмас. Маятник унча катта бўлмаган бурчакка четлатилганлиги туфайли куч мазкур ёйни тортиб турувчи ватар чизиғига яқин бўлган уринма бўйича йўналади. Худди шу  $\vec{F}$  тенг таъсир этувчи куч юкни тезланиш билан мувозанат ҳолатга томон ҳаракатланишга мажбур этади. Бу куч

$$\vec{F} = \vec{F}_0 = \vec{F}_g$$

га тенг ёки ёй уринмасига проекциясида

$$F_{yp} = (F_0)_{yp} \quad (1)$$

Бу ифодада эластиклик кучининг уринмага перпендикуляр бўлганидан унинг проекцияси нолга тенг экани, яъни  $(F_g)_{yp} = 0$  ҳисобга олинди.

$BDC$  учбурчакдан (бурчак  $BDC$  ҳам  $\varphi$  га тенг) (қ: 10- расм) оғирлик кучининг ёй уринмасига проекциясини топиш мумкин. У  $F_0 \sin \varphi$  ёки

$mg \sin \varphi$  га тенг. Учбурчак  $OAB$  дан эса  $\sin \varphi = \frac{x}{l}$ , бунда  $x$  — маятникнинг силжиши.

Шунга кўра тенг таъсир этувчи кучнинг уринмага проекцияси:

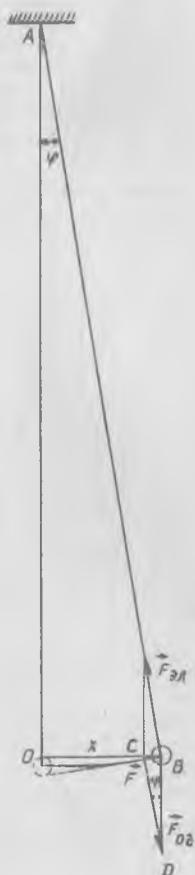
$$F_{yp} = - \frac{mg}{l} x.$$

«Минус» ишора  $\vec{F}$  куч йўналиши силжиш йўналишига қарама-қарши эканини билдиради.

Формуладан кўринишича, маятникни тебратувчи куч пружинали маятникни тебратувчи эластиклик кучига жуда ўхшаб кетади ( $F_x = -kx$ ). Бироқ, бунда пружина бикрлигини ифодаловчи  $k$  ўрнида  $\frac{mg}{l}$  катталиқ қатнашади. Эластиклик кучи сингари  $\vec{F}$  куч ҳам  $x$  силжишга пропорционал бўлиб, унга қарама-қарши йўналган. Математик ва пружинали маятникларнинг бир-бирига ўхшашлик сабаблари ҳам шундан иборат: бир хил сабабиятлар бир хил оқибатларга олиб келади. Демак, математик маятник тебранади. Унинг тебраниш даври  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$  формуладаги  $k$  ўрнига  $\frac{mg}{l}$  ни қўйиш йўли билан аниқланади. У ҳолда математик маятникнинг тебраниш даври:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (2)$$

(2) формуладан маятникнинг тебраниш даври жисмнинг массасига эмас, балки османинг узунлигига боғлиқ экани кўришиб турибди; шунингдек у тебраниш амплитудасига ҳам боғлиқ эмас. Шунинг



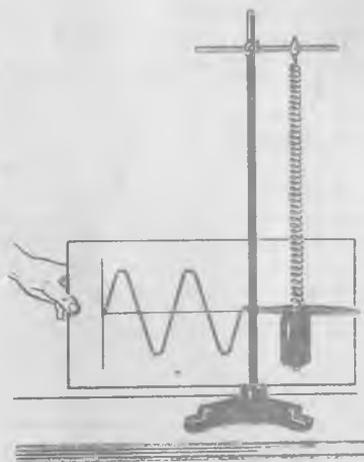
10- расм.

учун ҳам маятникдан соатларнинг юришини сошлаш учун фойдаланилади.

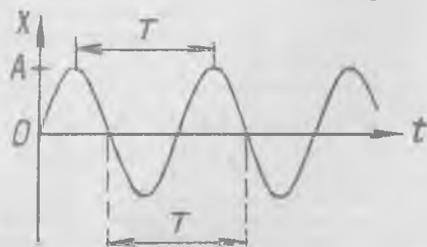
Маятник, шунингдек, геологик разведкада ўз татбиқини топди. (2) формуладан кўринадик, маятникнинг тебраниш даври эркин тушиш тезланиши  $g$  га ҳам боғлиқдир. «Физика-8» дарслигининг 31-§ ида кўрганимиздек, Ер остида ўртача зичлиги Ернинг ўртача зичлигидан фарқ қиладиган Ер ости жинслари бўлган жойларда  $g$  нинг қиймати шу кенгликдаги  $g$  нинг оддий қийматидан фарқ қилиши мумкин. Маятник ёрдамида  $g$  нинг қийматини ўлчаб, Ер ости жинслари борлигини қайд қилиш мумкин.

Пружинали маятникнинг математик маятникдан муҳим фарқини кўрсатиб ўтамиз.  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$  ва  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  формулалардан кўринадик, математик маятникдан фарқли ўлароқ пружинали маятникнинг тебраниш даври юкнинг массасига боғлиқ. Пружинали маятникнинг маскур хусусиятидан жисм массасини аниқлашда фойдаланиш мумкин (3-§ да масала ечиш орқали кўрсатилган эди). Энг қизиғи шундаки, жисм массасини ўлчашнинг ушбу усулидан вазнсизликда ҳам фойдаланиш мумкин, чунки бундай маятникнинг тебраниш даври фақатгина юкнинг массаси ва пружинанинг бикрлигига боғлиқдир. Пружинали маятник ёрдамида жисм массасини ўлчайдиган асбоб масс-метр деб аталади. Бундай асбоб билан космик парвозларда космонавтларнинг массаси ўлчанади. Маълумки, оддий тарозилардан бу мақсад учун фойдаланиб бўлмайди.

Гармоник тебранишларни график тасвирлаш. Гармоник тебранма ҳаракат жисм координатасининг вақтга боғлиқлик графиги кўринишида тасвирланганда яна ҳам кўримли бўлади. Бундай графикни тасвирлашни тебранаётган жисмнинг ўзига «топшириш» мумкин. Бунинг учун тебранаётган жисмга қандайдир ёзувчи қурилма (қалам, ручка) ўрнатилади, унинг олдида эса қоғоз лента жойлаштирилади (11-расм). Жисм тебранганда қоғозга тўғри чизик чизади. Бу тўғри чизикнинг ҳар бир нуқтасини бир тебраниш даврида жисм икки марта — тепага чиқишда ва пастга тушишда ўтади. Агар тебранаётган жисмнинг исталган вақт моментидagi ҳолатини аниқламоқчи бўлсак, у ҳолда перо ёки қалам учини қоғозга бир мартадан ортиқ теккизмаслиги-



11- расм.



12- расм.

миз керак бўлади. Бунинг учун қоғоз лентани тебраниш йўналишига перпендикуляр ҳолда бирор ўзгармас тезлик билан ҳаракатлантиришимиз керак бўлади. Қоғозда перонинг турли вақт моментига мос ҳолатини ифодаловчи нуқталардан ташкил топган эгри чизиқ ҳосил бўлади. Демак, тебранаётган жисмнинг исталган вақт momentiдаги ўрнини белгилаш мумкин экан. 12-расмда мазкур эгри чизиқ алоҳида кўрсатилган. Агар тебранаётган жисм мувозанат ҳолатдан ўтаётган пайтдан бошлаб қоғозни бир текис торта бошласак, шундай эгри чизиқни ҳосил қилиш мумкин. Бундай эгри чизиқ синусоида деб аталишини эслатиб ўтамиз. Энди биз уни тажриба асосида ҳосил қилдик.

Юқорида (қ. 1-§) пружинали маятник гармоник тебраниш қилади деб айтган эдик. Энди эса гармоник тебранишларда координатанинг вақтга боғланиш графиги синусоидани ифодалайди, деб тасдиқлашимиз мумкин. Шундай тебраниш графикларини чизиб, тебранишларни вақт бўйича «ёямиз» деб айта оламиз. Қоғознинг текис ҳаракатланиши гўё вақт ўтишини ифодалайди. Бундай ёйилмалар тебранма ҳаракат характеристикалари ҳисобланган амплитуда, давр ва демак, частота (қ. 12-расм) кабиларни яққол кўрсатиши мумкин.

### Саволлар

1. Қандай шароитда ипга осилган юкни математик маятник деб ҳисоблаш мумкин?
2. Қандай шароитда маятникнинг тебраниши гармоник бўлиши мумкин?
3. Маятникнинг тебраниш даври қандай катталикларга боғлиқ?
4. Маятник Ернинг бир жойидан бошқа жойига кучирилганда унинг тебраниш даври ўзгарадими?
5. Агар маятникдаги юк массаси икки марта оширилса ёки камайтирилса, унинг тебраниш даври қандай ўзгаради?

### Масала ечиш намуналари

Ўқувчи математик маятник ёрдамида эркин тушиш тезланишини ўлчамокда. Ўқувчи фойдаланаётган маятник ипининг узунлиги 100 см га тенг. 60 с давомида маятник 30 марта тебранади. Ўқувчи мазкур ўлчаш ишларини олиб бориб, тезланиш учун қандай қийматни олади?

Е ч и л и ш и.  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  формуладан  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$  эканини биламиз. Масаланинг шартидан  $T = \frac{60\text{с}}{30} = 2$  с келиб чиқади. Демак,

$$g = \frac{4 \cdot (3,14)^2 \cdot 1 \text{ м}}{4 \text{ с}^2} \approx 9,86 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

### 2- машқ.

1. Маятник 30 с ичида 24 марта тебранади. Маятникнинг тебраниш даври ва частотаси нимага тенг?
2. Тебраниш даври 1 с; 2 с бўлиши учун маятник осмасининг узунлиги қанча бўлиши керак?
3. Ленинграддаги Исаакий соборида осмасининг узунлиги 98 м бўлган маятник осилган. Унинг тебраниш даври қандай? Агар маятник вертикал ҳолдан  $5^\circ$  ( $0,087$  рад) га оғдирилган бўлса, унинг тебраниш амплитудаси нимага тенг?
4. Маятник Ер сиртида 2 с давр билан тебранади. Мазкур маятник Ой сиртига кўчирилганда унинг тебраниш даври қандай бўлади? Ой сиртида эркин тушиш тезланиши Ер сиртидаги қийматидан 6 марта кам.

## 5. Эркин тебранишлар. Тебранишларнинг сўниши

Ўз-ўзидан содир бўладиган тебранишлар. Пружинага маҳкамланган юк ёки ипга осилган юк тебранишлари гўё ўз-ўзидан содир бўлгандек туюлади. Бунинг учун пружинага маҳкамланган ёки ипга осилган юкни мувозанат ҳолатдан озгина четга чиқариб юбориш кифоя. Бу демак, ўз-ўзидан, маятниклар ташқи кучлар томонидан тебранишга мажбур этилмаганлигидандир; тебранишлар жисмлар системасининг ўз ичида таъсир этадиган кучлар: пружинали маятникда эластиклик кучи ёки математик маятникда оғирлик ва ипнинг эластиклик кучи<sup>1</sup> ҳисобига содир бўлади.

Мувозанат ҳолатдан чиқарилгандан кейин ташқи таъсирларсиз содир бўладиган тебранишлар *эркин тебранишлар* деб аталади.

Эркин тебрана оладиган жисмлар системаси *тебраниш системала-ри* дейилади.

Эркин тебранишлар частотасини система *хусусий тебранишининг частотаси* деб аталади.

3 ва 4- § ларда ҳосил қилинган тебраниш даврлари учун берилган формулалар айнан эркин тебранишларга тааллуқлидир.

Шундай қилиб, пружинали ва математик маятниклар эркин тебранади. Бундай тебранишлар табиатда кўп учрайди.

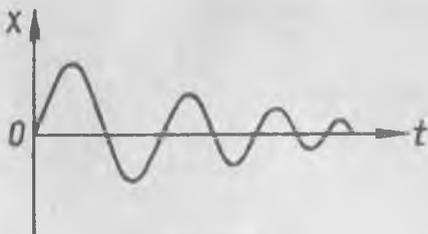
Маятниклар тебраниши билан танишгандан сўнг жисмларнинг эркин тебранишлари қандай шароитларда содир бўлишини фаҳмлаш биз учун қийинчилик туғдирмайди. Биринчидан, тебраниш системасида бир-бирига «ўхшаш» кучлар таъсир этиши керак. Пружинали маятникда бу эластиклик кучи бўлиб, унинг координата уқига проекцияси пружина деформациясига, яъни жисмнинг силжишига пропорционалдир ( $F_x = -kx$ ). Бу куч мувозанат ҳолат томон йўналган. Ипли маятникда бу — проекцияси жисм силжишига пропорционал бўлган оғирлик ва эластиклик кучларининг тенг таъсир этувчисидир ( $F_x = -\frac{mg}{l}x$ ), бу куч ҳам мувозанат ҳолатга томон йўналган.

Иккинчидан, системада ишқаланиш иложи борича кичик бўлиши керак, акс ҳолда тебраниш тез сўнади умуман ҳосил бўлмайди.

**Эркин тебранишлар қанча вақт давом этади? Тинч турган маятникни туртиб юбориб ёки уни маълум баландликка кўтариб, унга биз энергия: биринчи ҳолда — кинетик, иккинчи ҳолда эса потенциал энергия узатамиз. Кейинчалик, тебранма ҳаракат давомида жисм энергияси кинетикдан потенциалга ва аксинча алмашиниб боради. Ишқаланиш бўлмаганда маятникнинг тўла механик энергияси исталган вақт моментида унга берилган бошланғич энергияга тенглигича қолиши керак.**

1- § да кўрганимиздек, тебранаётган жисмнинг тўла энергияси тебраниш амплитудасининг квадрати билан аниқланади. Демак, ишқаланиш бўлмаганда маятникнинг тўла механик энергияси сақланади, тебраниш амплитудаси ҳам ўзгармайди. Демак, эркин тебранишлар абадий давом этиши керак. Ҳақиқатан ҳам, баъзан ажабланарли даражада узоқ давом этадиган тебранишларни кузатиш мумкин.

<sup>1</sup> Ипли маятникдаги жисмлар системасига Ер ҳам киради, чунки у юкка таъсир этувчи оғирлик кучи «манбаи» ҳисобланади.



13- расм.

тебраниш сўнади ва ниҳоят тўхтаб қолади.

Сабаби шундаки, Ердаги реал шароитларда бошқа кўринишдаги ҳаракатлар сингари, тебранма ҳаракатда ҳам, ишқаланиш кучи таъсиридан озод бўлиши мумкин эмас. Ишқаланиш эса ҳамма нарсани мутлақо ўзгартириб юборади. Ишқаланиш кучи ҳаракат йўналишига тескари йўналади, шунинг учун ҳам манфий иш бажаради. Иш манфий бўлганлиги туфайли тўла механик энергия камаяди. Энергиянинг камайиши амплитуданинг камайишини билдиради. Вақт ўтиши билан амплитудаси камайиб борадиган тебранишлар *сўнувчи тебранишлар* деб аталади. Ҳар бир янги даврда амплитуда тобора камайиб боради ва ишқаланиш кучи қанчалик катта бўлса, амплитуда шунчалик тез камаяди. 13- расмда сўнувчи тебраниш графиги кўрсатилган. Сўнувчи тебранишларни гармоник деб ҳисоблаш мумкин эмас, чунки гармоник тебранишлар учун амплитуданинг доимийлиги характерлидир.

Масалан, унча катта бўлмаган бурчакка оғдирилган узун маятник кўплаб соат тебраниши мумкин.

Эркин тебранишлар ба-рибир абадий эмас. Эркин тебранишлар қанчалик узоқ давом этмасин, тажриба шун кўрсатадики, уларнинг амплитудаси аста-секин камайиб боради, одатда

## Саволлар

1. Қандай тебранишлар эркин тебраниш деб аталади?
2. Тебранишларнинг сўниш ҳодисаси нимадан иборат?
3. Нима учун ишқаланиш кучи тебранишлар амплитудасининг камайишига олиб келади?
4. Сўнувчи тебранишларни гармоник тебранишлар деб аташ мумкинми?

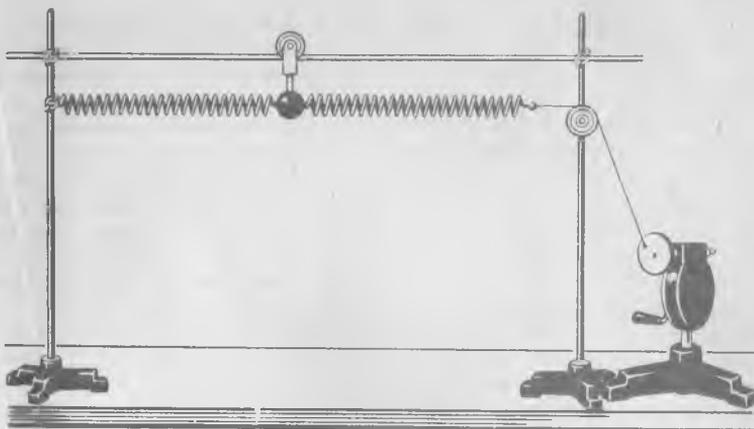
## 6. Мажбурий тебранишлар

Тебраниш сўнмаслиги учун ҳар бир тебранишда ишқаланиш натижасидаги энергия йўқолишини тўлдириб туриш керак бўлади.

Тебраниш системасининг энергиясини тўлдириб туриш учун ташқаридан даврий равишда ўзгариб турувчи куч билан таъсир этиш керак. Системанинг энергияси ташқи куч бажарган иш ҳисобига тўлдириб турилади. Бу ҳолда жисмларнинг тебраниши энди эркин бўлмайди. Улар мажбурий тебранишдир; мазкур тебранишни юзага келтирадиган даврий ўзгарувчи куч *мажбур этувчи куч* деб аталади.

Жисмнинг даврий ўзгарувчи ташқи куч таъсирида тебраниши *мажбурий тебраниш* деб аталади.

Масалан, агар пружинанинг эркин учига даврий ўзгарувчи куч таъсир этиб турса (14- расм), пружинага маҳкамланган юк мажбурий тебраниш қилади. Пружинадаги юк осилиб тушмаслиги учун уни рейка бўйлаб сурила оладиган блокка маҳкамланади. Пружинанинг



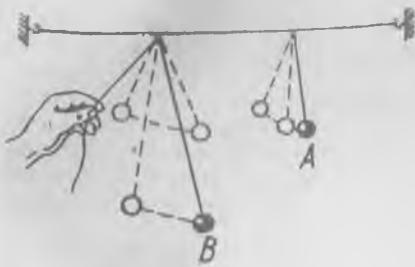
14- расм.

учи марказдан қочма машина дискага маҳкамланган стерженга боғланиб, кучнинг даврий таъсири таъминланади. Диск айлантирилганда ип пружинанинг учига бирор куч билан таъсир этади. Бунда кучнинг таъсир этиш частотаси дискнинг айланиш частотаси  $\nu$  га тенг бўлади. Шу туфайли жисм  $\nu_0$  хусусий тебраниш частотаси билан эмас, балки айнан шу частота билан тебранади. Мажбур этувчи куч ўз частотасини тебранаётган жисмга «беради». **Мажбурий тебраниш мажбур этувчи куч частотасида содир бўлади.**

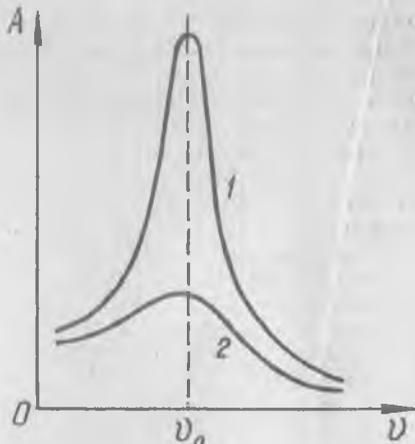
**Резонанс.** Мажбур этувчи куч частотаси билан жисмнинг хусусий частотаси мос тушган ёки яқин келган ҳолат алоҳида қизиқиш уйғотади. Тебраниш системасига таъсир этувчи мажбур этувчи куч частотасини осонгина ўзгартиш мумкин бўлган тажрибани қараб чиқамиз. 15- расмда ўзгармас узунликдаги  $A$  маятник ва узунлигини осон ўзгартириш мумкин бўлган  $B$  маятниклардан ташкил топган қурилма тасвирланган. Ҳар иккала маятник битта арқонга боғлаб осилган. Шу туфайли бўлса керак, агар  $B$  маятник тебрантирилса, у ҳолда арқон орқали бирор даврий куч  $A$  маятникка таъсир қилади; натижада  $A$  маятник мажбурий тебранади.

$B$  маятник узунлигини қисқартира бориб, унинг частотасини ўзгартиришга эришамиз. Демак,  $A$  маятникка мажбурий таъсир этувчи куч частотасини ўзгартиришга ҳам эришган бўламиз. Бунда мажбур этувчи куч частотаси  $A$  маятникнинг хусусий тебраниш частотасига яқинлашганда (маятниклар узунлиги тенглашади)  $A$  маятникнинг тебраниш амплитудаси кескин ортади. Тебраниш системасининг мажбур этувчи куч частотаси  $\nu$  ва хусусий тебраниш частотаси  $\nu_0$  мос тушганда мажбурий тебраниш амплитудаси максимум қийматига эришади:  $\nu = \nu_0$ . Бунда ишқаланиш кучи муҳим роль ўйнайди ва у амплитуданинг жуда катта қийматларга эришувига тўсқинлик қилади. Бироқ шунга қарамасдан, мажбур этувчи куч тебраниш частотаси билан системанинг хусусий тебраниш частотаси тенг бўлган ҳолда амплитуда жуда катта қийматга эришиши мумкин<sup>1</sup>. Мажбур этувчи

<sup>1</sup>  $\nu$  ва  $\nu_0$  частоталар аниқ мос тушмаган ҳолда ҳам амплитуданинг максимал қийматига эришишга ишқаланиш кучлари сабаб бўлади.



15-рasm.



16-рasm.

куч тебраниш частотаси тебраниш системасининг хусусий тебраниш частотасига тенглашганда мажбурий тебраниш амплитудасининг кескин ортиб кетиш ҳодисаси *резонанс* деб аталади.

16-рasmда мажбурий тебраниш амплитудасининг мажбур этувчи кучнинг  $\nu$  тебраниш частотасига боғлианиши кўрсатилган. Частотанинг маълум  $\nu = \nu_0$  қийматида тебраниш амплитудаси максимумга эришиши кўриниб турибди, бунда  $\nu_0$  тебраниш системасининг хусусий частотасидир. Расмда 1 эгри чизик максимуми жуذا ҳам кескиндир. Бу манзара ишқаланиш кучининг кичик қийматида мос келади. Ишқаланиш кучининг қиймати катта бўлганда бундай кескин максимум рўй бермайди (2 эгри чизик).

**Резонанс ҳодисасини қандай тушунтириш мумкин?** Масалан, арғимчоқ тебратилганда унча катта бўлмаган, бироқ арғимчоқнинг эркин тебраниши билан бир «тактда» бўлган ташқи куч билан таъсир этиш кераклиги ҳаммага яхши маълум. Бир «тактда» дегани — таъсир этувчи (туртки) кучнинг йўналиши билан арғимчоқнинг ҳаракат йўналиши мос туришини англатади. Шунинг учун ҳам ташқи куч мусбат иш бажариб, бу иш арғимчоқнинг ҳар галги янги туртки энергиясига кўра ортиб боради, унинг тебраниш амплитудаси ҳам ортади. Маятник билан бўлган тажрибада ҳам худди шунинг ўзи содир бўлади (қ: 15-рasm); бунда B маятник тортма орқали A маятникка унинг хусусий тебраниш частотаси билан бир «тактда» таъсир этади. Мажбур этувчи куч частотаси билан системанинг эркин тебраниш частотаси мос тушганда тебраниш системасида максимал энергия узатилиши содир бўлади. Шунинг учун ҳам амплитуда кескин ортиб кетади.

Резонанс бир томондан фойдали бўлиши мумкин, чунки керак бўлса, тебраниш амплитудасини ошириб беради. Бошқа томондан қараганда, резонанс зарарли ва ҳаттоки, хавфли ҳодиса бўлиши ҳам мумкин. Масалан, агар пойдеворга машина ўрнатилган бўлиб, унинг иш жараёнида машинанинг айрим қисмлари даврий ҳаракатда бўлсин. Бу ҳаракат пойдеворга узатилади, пойдевор ҳам мажбурий тебранишда иштирок этади. Пойдевор ҳам ўзининг хусусий тебраниш частотасига эга. Унинг тебраниш частотаси машинанинг тебраниш частотаси билан мос тушса, пойдеворнинг тебраниш амплитудаси шун-

чалик катта бўлиши мумкинки, бу тебраниш пойдеворнинг бузилишига олиб келади. Кўприкдан солдатлар отряди ўтганда тасодифан, кўприкнинг хусусий тебраниш частотаси солдатлар қадами частотасига мос келиб, кўприкнинг бузилиб кетган ҳоллари ҳам тарихдан маълум. Резонанснинг хатарли оқибатларига қарши курашиш частоталарни мос келтиришга йўл қўймаслик билан белгиланади. Бунинг учун олдиндан машина, пойдевор, транспорт воситалари ва ҳ. к. нинг тебраниш частоталари ҳисоблаб чиқилади, чунки улар ишлатилаётган вақтларда резонанс ҳодисаси рўй бермаслиги керак.

Резонанс ҳодисасини биз кундалик ҳаётимизда тез-тез учратиб тураемиз. Агар кўчадан оғир юк машинаси ўтаётганда уйнинг ойнаси зириллаб кетса, бу ойнанинг хусусий тебраниш частотаси машинанинг тебраниш частотасига тенглашганини билдиради. Умуман олганда, ҳар қандай зириллаш одатда резонанс билан боғлиқ бўлади. Резонанснинг тажрибада, мажбурий тебранишларни ўрганиш муносабати билан кузатиш ҳам мумкин (қ: 14- расм). Мажбур этувчи кучнинг тебраниш частотасини ўзгартириб (марказдан қочма машина ёрдамида), мазкур тебранишларнинг турли частоталарида юкнинг тебраниш амплитудаси турлича бўлишини сезиш мумкин. Шундай частота танлаш мумкинки, бунда амплитуда ниҳоятда катта бўлади. Бу ҳол резонанс содир бўлганини билдиради.

## Саволлар

---

1. Мажбурий тебраниш нима?
2. Мажбурий тебраниш қандай частоталарда содир бўлади?
3. Резонанс ҳодисаси нима?
4. Мажбурий тебранишларда ишқаланиш кучининг роли нимадан иборат?

### 3- машқ.

Горизонтал маятник пружинаси учигаги массаси 1 кг бўлган юкка (қ: 14- расм) тебраниш частотаси 16 Гц бўлган ўзгарувчан куч таъсир қилади. Агар пружинанинг бикрлиги 400 Н/м бўлса, бунда резонанс ҳодисаси кузатиладими?

## 2- б о б

---

## Тўлқинлар

### Тебранишлар нуқтадан нуқтага узатилади

Кўпчилик шамол эсган вақтда ўрилмаган майсазорни кузатган бўлса керак. Шоирона айтганда «тўлқинлар заъфарон ўтлоқ». Ана шу манзарага қараб туриб, майдон бўйлаб ниманингдир ҳаракатлашини кўрамиз. Бироқ айнан ниманинг ҳаракатланаётгани тушунарсиздир. Чунки ўт-ўланлар ўз ўрнида қолади. Улар фақат букилади, тагин ростланади ва ҳ. к. Биз кузатаётган ҳол тўлқинни ифодалайди.

Идишдаги сув сиртига ёнгилгина пўкак қўямиз. Эҳтиёткорлик билан яна битта пўкак қўямиз. Иккинчи пўкакнинг пайдо бўлиши биринчисига ҳеч қандай таъсир билдирмайди. Улар орасида ўзаро таъ-



17- расм.

сир йўқ деб ҳисоблаш мумкин. Энди эса енгилгина босиш йўли билан пўкаклардан бирини тебранишга мажбур этамиз. Бу ҳолга иккинчи пўкак «бефарқ бўлиб қололмайди». Бир оз

вақт ўтгандан кейин у ҳам тебрана бошлайди. Биз тебранма ҳаракатга келтирган пўкакдан сувнинг сирти бўйлаб «айланаларнинг тарқалаётганини» кўрамиз. Бундай айланалар ҳам *тўлқинлар* деб аталади.

Яна бир мисол. Уzun тизимчанинг бир учини таянчга маҳкамлаймиз, бошқа учини эса тебранма ҳаракатга келтирамиз (17- расм). Тизимча бўйлаб ниманингдир «чопаётганини» кўрамиз. Бироқ тизимчанинг иккала учи ўз жойларида қолади. Тизимча бўйлаб «чопаётган» нарса ҳам тўлқин деб аталади (уни «югурувчи тўлқин» деб аташади).

## 7. Тўлқин нима?

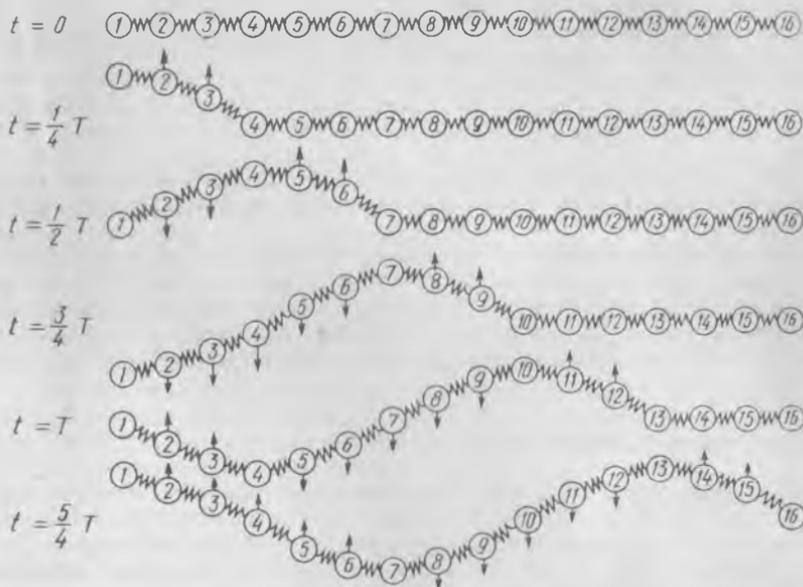
Дала майдони, сувнинг сирти, тизимча бўйлаб нима тарқалади?

Биз келтирган ҳар учала мисолда тўлқин манбаи тебраниш эканини пайқаш қийин эмас. Шамол таъсирида деформацияланган шохшаббалар тебранади, пўкак ёрдамида деформацияланган сув сирти тебранади, деформацияланган тизимча учи тебранади. Тебранишни биринчи бошлаган зарра (масалан, тизимча учидаги зарра) кетидан бирин-кетин эластиклик кучлари билан боғланган унинг қўшнилари тебранма ҳаракатга келади. Улар ҳам бир оз кечикиб бўлсада, худди ўша тебранишларни такрорлайди. Масалан, 17- расмда кўрсатилган вақт моментиди О дан А нуқтагача бўлган барча нуқталар тебранади. А нуқтадан ўнгрқда жойлашган нуқталар эса тинчликда бўлади. Ҳали уларга «навбат» етиб келгани йўқ. Биз тўлқин деб атайдиган нарса *тебранишларнинг нуқтадан-нуқтага тарқалишидир*.

Тизимчада ҳосил бўлган тўлқин моделига ҳар бирининг массаси  $m$  бўлган ва ўзаро эластиклик кучи билан таъсирлашадиган майда шарчалар (нуқталар) занжири мисол бўлиши мумкин. Шарчалар орасида кичик пружиначалар ўрнатилган деб фараз қилишимиз мумкин (18- расм).

Фараз қилайлик, 1 нуқта юқорига кўтарилган бўлиб, мувозанати бузилган. Уни 2 нуқта билан туташтирадиган пружинача чўзилганлиги туфайли 1 ва 2 нуқталарга таъсир этадиган эластиклик кучи юзага келади. Нагижда 2 нуқта ҳам тебранма ҳаракатга кела бошлайди. Бу ҳол навбатдаги пружиначани чўзилишга олиб келади ва ҳоказо. Ҳамма шарчаларнинг массалари бир хил бўлгани ва ҳамма пружиначаларнинг бикрлиги бир хил бўлгани туфайли барча нуқталар (ҳар бири ўзининг мувозанат ҳолати атрофида) бир хил давр ва бир хил амплитудалар билан тебранади. Бироқ бу тебранишлар бир вақтда бошланмайди. Барча шарча — нуқталар инертликка эга бўлганлиги туфайли (улар массага эга!) уларнинг тезликлари ўзгариши учун вақт талаб этилади. Шу туфайли иккинчи нуқта биринчисига, учинчиси иккинчисига нисбатан ва ҳоказо кечикиб тебрана бошлайди.

**Тўлқин узунлиги.**  $T$  тебраниш даврига тенг вақтдан кейин 1 нуқта ўзининг биринчи тебранишини тугаллайди. Бу вақтга келиб қўшни 2 нуқта бунга ҳали улгурмайди, чунки у кечикиб ҳаракат бошлайди.



18- расм.

Демак, 2 нукта ўзининг биринчи тебранишини кечикиб тугаллайди. 3, 4 ва ҳ. к. нукталар яна ҳам кечикиб тугаллайдилар. 1 нуктадан маълум масофада, ҳаракат бошлангандан бир тебраниш даврига «кечикадиган» нукта мавжуд. Бизнинг расмда бу 13 нуктадир. Бу  $T$  тебраниш даврига тенг бўлган вақтда тебраниш 13 нуктагача тарқалиб «улгуради», демакдир. Шундай қилиб, 13 нукта ўзининг биринчи тебраниши 1 нукта ўзининг иккинчи тебранишини бошлаган вақтига тўғри келади. Бу масофани грекча  $\lambda$  ҳарфи билан белгилаймиз. Бу катталик *тўлқин узунлиги* дейилади. Тўлқин узунлиги деб, зарранинг тебраниш даврига тенг бўлган вақтда тўлқин тарқалган масофага айтилади.

Демак, 1 нуктадан  $2\lambda$  масофада жойлашган нукта ўзининг биринчи тебранишини 1 нуктанинг учинчи, 13 нуктанинг эса иккинчи тебраниши билан бир вақтда бошлайди ва ҳоказо. Бу нукталар бир хилда ҳаракатланади: бир вақтда юқорига ҳаракатланади, мувозанат ҳолат орқали бирга ўтади, бир вақтда пастга ҳаракатланади, навбатдаги тебранишни бир вақтда тугаллайди. Фақат мазкур нукталар эмас, балки бир-биридан бир, икки ва ҳоказо тўлқин узунлигига тенг бўлган масофаларда жойлашган исталган нукталар ҳам бир хилда ҳаракатланади. Демак, тўлқин узунлиги бир хилда ҳаракатланган ва мувозанат ҳолатдан бир хилда четланадиган энг яқин икки нукта орасидаги масофага тенг деб айтиш мумкин.

**Тўлқин тезлиги.** Тўлқин — эластик муҳитда тебранишнинг тарқалишидир. Бу тарқалишнинг тезлиги ҳақида гапириш ҳам ўринлидир. Мазкур тезликни *тўлқин тезлиги* дейилади. Юқорида кўрганимиздек,  $T$  давр  $\lambda$  тўлқин узунликка тенг ораликни ўтиш учун кетган вақтдир. Демак,

$$\lambda = vT.$$

(1)

Тебраниш даври  $T$  тебраниш частотаси  $\nu$  билан  $T = \frac{1}{\nu}$  муносабатда бўлганлигидан,  $\lambda = \frac{v}{\nu}$  ёки

$$v = \lambda \nu. \quad (2)$$

Ҳеч қачон тўлқин узунлигини зарранинг тебраниш тезлиги билан адаштирмаслик керак, чунки зарралар тўлқин билан бирга тарқалмайди.

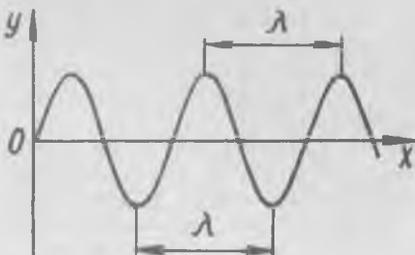
**Тўлқинлар ва энергия.** Маълумки, тебраниш билан энергия ўзаро боғлиқдир. Энергия тебранишлар амплитудасининг квадратига пропорционал. Гарчанд энергия ташувчи тебранаётган зарра тўлқин билан биргалликда тарқалмаса-да, тебраниш энергияси тўлқин билан бирга тарқалади. Шундай қилиб, тўлқин энергия ташувчи бўлиб ҳам хизмат қилади.

## 8. Тўлқиннинг икки тури

**Кўндаланг тўлқин.** 7- § да бир-бирлари билан пружиначаларнинг эластиклик кучлари орқали боғланган шарчалар — нуқталар занжирини ифодаловчи моделда тўлқин ҳосил бўлишини қараб чиқдик. Мазкур занжирдаги биринчи нуқта юқорига сурилганда, яъни вертикал тўғри чизик бўйлаб тебранганда, тебранишнинг қандай тарқалганини кўриб чиқдик. Тебраниш эса горизонтал чизик бўйлаб тарқалган эди. Зарраларнинг тебраниши тўлқин тарқалиши йўналишига қараб перпендикуляр бўлган тўлқин *кўндаланг тўлқин* деб аталади.

Кўндаланг тўлқин ҳосил бўлиши учун пружинанинг деформацияси, яъни зарралар ўртасида эластиклик кучи таъсир этиши керак. Тизимча узунлиги бўйлаб «юборилган тўлқин» да шу ҳодиса юз беради (қ: 17- расм). Кўндаланг тўлқин тарқалганда занжир ўз шаклини ўзгартиради; ушбу ҳол тизимча бўйлаб тарқалаётган тўлқин билан бўлган тажрибада яхши кўринади. Унда дўнглик ва чуқурликлар ҳосил бўлади. Тўлқин узунлик икки яқин дўнглик ёки чуқурликларга мос келади (19- расм).

**Бўйлама тўлқин.** Занжир бўйлаб тўлқинни бошқача ҳосил қилиш ҳам мумкин. Биринчи шарчани юқорига ёки пастга суриш эмас, балки ўнг ёки чапга суриш мумкин. Мазкур ҳол ҳам тебранишга мажбур этиб, бу тебраниш ҳам занжир бўйлаб тарқалиши мумкин эди. Бироқ бу ҳолда тебраниш юз бераётган тўғри чизик тебраниш тарқалаётган тўғри чизик билан мос тушади. Бунда кўндаланг тўлқинда кузатилган

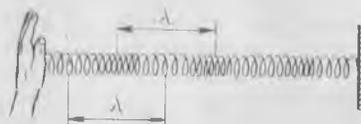


19- расм.



Зичланиш Сийракланиш Зичланиш

20- расм.



21- расм.

нидек дўнглик ва чуқурлик эмас, балки шарчаларнинг зичланиши ёки сийракланиши юз беради (20- расм). Зарраларнинг тебраниш йўналиши тебранишнинг тарқалиши йўналишида бўлган тўлқин *бўйлама тўлқин* деб аталади. Пружинанинг бир учини тебрантириб бўйлама тўлқин ҳосил бўлганини кузатиш мумкин (21- расм). Пружина учини итариб, унинг учига ўримларнинг зичланишини юзага келтирамиз. Бу зичланиш пружина бўйлаб «чопади». Мазкур зичланишлар ўз навбатида сийракланишлар билан алмашинади. Натижада сийракланиш ҳам пружина бўйлаб силжийди.

Тўлқин узунлигини тўлқин тезлиги частотаси ва тебраниш даври билан боғлайдиган формулалар фақатгина кўндаланг тўлқинга эмас, балки бўйлама тўлқинга ҳам тегишлидир. Бўйлама тўлқин узунлиги пружинадаги иккита яқин зичланишлар ёки сийракланишлар орасидаги масофага тенг бўлади (қ: 21- расм).

**Табиатда механик тўлқинлар.** Табиатда кузатиладиган тўлқинлар ўзи билан жуда катта энергия элтади. Масалан, денгиз тўлқинлари жуда катта қувватли энергияга эга бўлиб, денгиздаги катта кемаларнинг ҳалокатига сабабчи ҳам бўлади.

Бироқ денгиз тўлқини энергиясидан инсоният манфаати учун фойдаланса ҳам бўлади. Фақат бунда тўлқин энергиясини электр энергиясига айлантириб берувчи қурилма яратиш керак. Бундай энергия ўзгарткичлари тугаб бораётган нефть, газ, тошқўмир сингари энергия манбаларидан бирмунча тежаб фойдаланиш имкониятини яратар эди, шунингдек атроф-муҳит ифлосланмаган бўлур эди.

Табиатда, афсуски, фақат офат келтирадиган тўлқинлар ҳам учрайди. Мазкур тўлқинларга ер қимирлаши (ер ости силкинишлари) жараёнида тарқаладиган ер ости тўлқинлари киради. Уларни *сейсмик тўлқинлар* дейилади. Ер қимирлаганда қатлам силжиши (вертикал силжиш) содир бўлиб, унинг ўлчами 10—15 м га етади, Ер қимирлашини олдини олиш мумкин эмас. Бироқ одамларни ўз вақтида огоҳлантириш учун уни олдиндан айта билиш муҳим ҳисобланади. Бунинг учун *сейсмограф* номли асбоб мавжуд бўлиши керак, у ер қимирлашига олиб келувчи кучсиз сейсмик тўлқинларни қайд қилади.

Сейсмограф — ишлаш принципи жиҳатдан пружинали маятникнинг тебранишларини ёзиб олувчи қурилмага ўхшаш асбобдир (қ: 11- расм). Тупроқ тебранганда унда ўрнатилган асбобнинг пружинага маҳкамланган юкли корпуси ҳам тебранади. Маятникка маҳкамланган ёзув қурилмаси айланадиган барабанда тупроқнинг тебранишини қайд қилади.

Тупроқ тебранишининг ёзуви бўйича бошланаётган ер ости силкиниши, унинг кучи ва силкиниш марказигача бўлган масофа ҳақида мулоҳаза қилиш мумкин.

### Саволлар

1. Тўлқин нима? Қандай шароитларда тўлқин тарқалиши мумкин?
2. Тўлқин тезлиги, тўлқин узунлиги ва тўлқиндаги зарраларнинг тебраниш частоталари ўзаро қандай боғланган?
3. Тўлқин тезлик, тўлқин узунлик ва зарраларнинг тебраниш даври ўзаро қандай боғланган?

#### 4- машқ

1. Тулқин қирғоққа томон келади ва ҳар 10 с да қирғоқ чизигини 4 тўлқин кесиб ўтади. Агар тўлқин дўнгликлари орасидаги масофа 8 м бўлса, унинг тезлиги қанча?
2. Тебраниш частотаси 165 Гц бўлган тўлқин 330 м/с тезлик билан тарқалади. Тулқин узунлиги қанча?

### 3- б о б

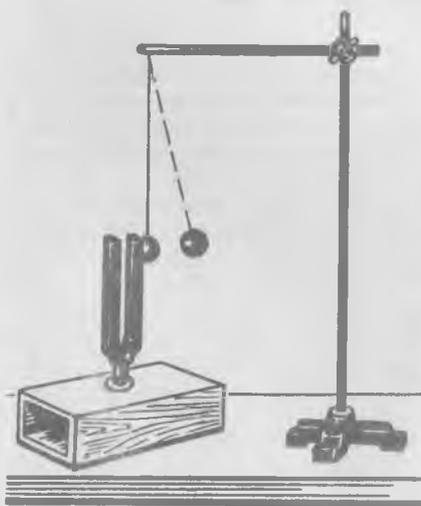
## Товуш ҳодисалари

### Инсон товушлар дунёсида яшайди

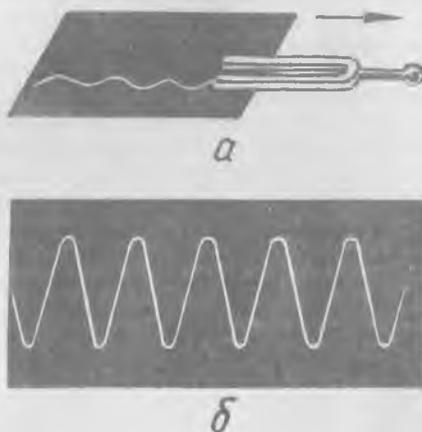
Қулоқ нимани эшитса, ўша — товушдир. Биз одамларнинг товушини, қушларнинг сайрашини, музика асбобларининг садоларини, шамол вақтида ўрмон шовқинларини, денгиз тўлқинларининг урилишини, чақмоқ вақтидаги момақалдироқ товушларини эшитамиз. Ишлаётган машиналар, ҳаракатдаги транспорт ва ҳ. к. лар товуш чиқаради. Физиканинг товуш ҳодисаларини ўрганадиган бўлими *акустика* деб аталади.

### 9. Товушнинг тарқалиши — товуш тўлқинлари

Тебранаётган жисмлар — товуш манбаларидир. Тебранаётган жисмлар товуш манбалари эканига осон ишонч ҳосил қилиш мумкин. Буни энг оддий ҳолда музика асбобининг тебранаётган торини кузатишдан пайқаш мумкин. Товуш чиқараётган торнинг ўрта қисми йўғонлашгандек туюлади. Торнинг кўриниши фақат унинг тебраниши туфайли ўзгаради.



22- расм.



23- расм.

Товуш ҳодисаларини ўрганишда камертон деб аталган махсус товуш манбаидан фойдаланилади. Камертон — букилган ва оёқчага ўрнатилган металл стержендан иборат. Камертон оёқчаси одатда ёғоч қутичага (қутичанинг вазифасини кейинроқ тушунтирамиз) маҳкамланади.

Камертоннинг шохчаларидан бирига тўқмоқча билан уриб соф музыка товушини эшитамиз. Товуш тарқатаётган камертонга кичик шарча яқинлаштирилганда камертондан урилиб қайтганини сезамиз (22- расм). Бу ҳол товуш чиқараётган камертон шохчалари тебранаётганлигидан далолат беради.

Маятник тебранишидаги каби бу ерда ҳам камертонга ўзининг тебранишини ўзи ёзишини «топшириш» мумкин. Бунинг учун камертон шохчаларидан бирининг учига учлик ўрнатамиз ва уни қорайтирилган пластинкага устига тегизиб юритамиз (23- а расм). Бу ҳолда бизга маълум бўлган синусоидал чизиқ ҳосил бўлганини кўрамиз (23- б расм). Демак, камертон шохчалари гармоник тебранишда бўлади.

Товуш манбаи билан қулоқ ўртасида бирор эластик муҳит, одатда, ҳаво бўлади. Ана шу муҳитда товуш манбаидан чиқаётган тебранишлар — товуш тўлқинлари тарқалади. Тўлқин қулоқнинг ноғора пардасига таъсир қилади. Унинг тебраниши мияда товуш сифатида акс этади.

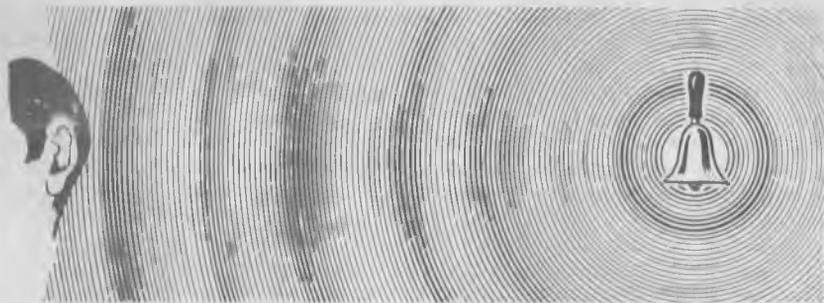
Товушнинг узатилиши учун қандайдир, моддий муҳитнинг бўлиши шарт. Агар ҳаво насоси қалпоғи остидан ҳаво сўриб олинса, қалпоқ остида жойлашган электр қўнғироқ товушини биз эшита олмаймиз.

Товуш тўлқинлари қандай ҳосил бўлади? Қўнғироқ деворлари тебранганда ўзининг тебраниш йўналишида муҳит зарраларини итаради ва бунда зичлашган ҳаво зарраларини ҳосил қилади. Навбатдаги (иккинчи) ярим даврда бу ерда зичлашган муҳит сийраклашган муҳит билан алмашади. Мазкур зичланиш ва сийракланишлар қўнғироқ деворининг тебраниш чизиғи бўйлаб тарқалади (24- расм).

Демак, ҳаводаги товуш тўлқини зарра тебраниши унинг тарқалиш йўналиши бўйлаб амалга ошувчи бўйлама тўлқинни ифодалайди.

Товуш тўлқини шунингдек суюқ ва қаттиқ муҳитларда ҳам тарқалиши мумкин. Дарё ёки денгизга шўнғиган одам сув остида теплоходларнинг эшак винти товуши, тошларнинг урилиши каби товушларни яхши эшитади. Агар рельсга қулоқ тутилса, ҳаракатланаётган поезд товушини яхши эшитиш мумкин. Ерга қулоқ тутилганда узоқда чопиб бораётган отлиқ отининг туёқлари урилишидан ҳосил бўлган товуш яхши эшитади.

Суюқликларда зарраларнинг тебранишини суюқликнинг зичланиш ва сийракланишидаги эластиклик кучлари орқали юзага келади. Шунинг учун суюқликлардаги товуш тўлқини ҳам бўйлама тўлқинни ифодалайди. Аммо қаттиқ жисмларда товуш тўлқини қўндаланг бўлиши ҳам мумкин. Бунга сабаб қаттиқ жисмларда сиқилиш ва чўзилишдан бошқа кўринишдаги деформация турлари ҳам мавжуд эканлигидадир. Агар стержень учига узунасига эмас, балки унга қўндаланг йўналишда урилса, стержень қатламларининг бири-иккинчисига нисбатан силжийди. Бундай деформация силжиш деформацияси дейилади. Мазкур деформация туфайли ҳам эластиклик кучи юзага келиб, бу куч стерженьнинг олдинги шаклини тиклайди. Бундай ҳолда қўндаланг тўлқин кўринишидаги тебраниш юзага келади. Суюқлик ва газламада силжиш деформацияси ҳосил бўлмайди. Мазкур муҳитларда фақат бўйлама тўлқин тарқалади.



24- расм.

**Товуш тезлиги.** Биз ҳамма вақт чақмоқ чаққандан бир оз кечикиб (баъзан ўнлаб секундлар ўтади) момақалди роқ овозини эшитамиз. Бироқ чақмоқ ва момақалди роқ бир вақтда содир бўлиши ўз-ўзидан тушунарли. Нима учун чақмоқни кўргандан бир оз вақт ўтиб момақалди роқ товушини эшитамиз? Маълумки, бунга товуш ва ёруғлик тезликларининг бир хил эмаслиги сабаб булади. Ёруғлик деярли бир онда тарқалади, унинг тезлиги жуда ҳам катта — 300000 км/с. Товуш тезлиги эса ундан анча кичик.

**Товуш тезлиги қанчага тенг?**

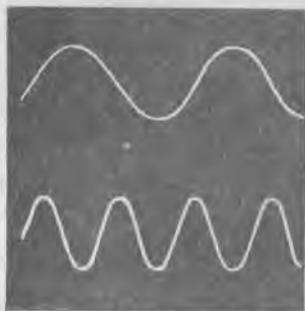
Ёруғлик деярли бир онда тарқалади, товуш эса нисбатан жуда кичик тезлик билан тарқалгани учун ҳам унинг тезлигини аниқлаш осон. Товуш тезлигини ўлчаш учун бир вақтда товуш ва ёруғлик тарқатадиган манбага эга бўлиш керак. Бундай манба сифатида масалан, артиллерия қуроли бўлиши мумкин. Қуролдан аниқ ўлчанган маълум бир масофада кузатувчи туриши керак. Секундомер ёрдамида ўқ отилган вақтдаги чақнаш momentiда товуш тарқалиш бошланишини қайд қилиб, тезлик ўлчанади. Товушнинг тарқалиш тезлигини аниқлаш учун товуш манбаидан кузатувчигача бўлган масофани товушнинг тарқалиш вақтига бўлиш керак. Бу тезлик температурага боғлиқ бўлиб, ҳавода 0°C температурада 331 м/с га тенг. Турли муҳитларда товуш тезлигини ўлчаш шуни кўрсатадики, қаттиқ жисм ва суюқликларда товуш тезлиги ҳаводагига қараганда бирмунча юқори экан.

**Товушнинг қаттиқлиги.** Камертон ёки бошқа гармоник тебранаётган жисмлардан чиқаётган товушлар музыка товушлари дейилади. Музыка товушларини қабул қила туриб, улар орасидаги фарқни осон сезамиз. Масалан, камертонга тўқмоқ билан уриш кучини ўзгартириб, қаттиқлиги билан фарқланувчи товушларни эшитамиз. Лекин камертонга қанчалик кучлироқ урсак, унинг шохчаларининг тебраниш амплитудаси шунчалик катта бўлишини биламиз. Товуш тарқатаётган жисмнинг тебраниш амплитудаси катталашгани сари товуш тўлқинидаги амплитуда ҳам катталашади. Демак, *товушнинг қаттиқлиги товуш чиқараётган жисмнинг тебраниш амплитудасига боғлиқ, лекин мазкур боғланиш тўғри пропорционал боғланиш эмас.* Бироқ қулоғимизнинг товуш қаттиқлигига сезгирлиги товуш тўлқинидаги тебраниш частотасига ҳам боғлиқ. Бир хил амплитудаларда частоталари 1000 дан 5000 Гц оралиқдаги ҳар хил қаттиқликдаги товушларни қабул қиламиз.

**Товуш тони.** Музыка товушлари бир-биридан фақат қаттиқлиги

билангина фарқланмайди. Масалан, ашулачиларнинг паст (бас) ва юқори (сопрано) товушларини осон фарқ эта оламиз. Турли ўлчамдаги камертонлар турли тонда товуш чиқаради. Тоннинг баландлиги нимага боғлиқ?

Турли тонда товуш чиқарадиган иккита камертон оламиз ва уларнинг тебраниш графигини чизамиз (25-расм). Камертонларнинг товуш графикларини таққослаш шуни кўрсатадики, нисбатан юқори тонга камертон тебранишининг юқори частотаси мос келади (пастки синусоида). Демак, *тоннинг баландлиги тебраниш частотасига боғлиқдир.*



25-расм.

Инсон 16 дан 20000 Гц гача бўлган частотали тебранишларни товушлар сифатида қабул қилади. Инсон овози товушлари паст тонли — бас (80—350 Гц) ҳамда жуда юқори тонли — колоратур сопрано (330—1400 Гц) бўлиши мумкин.

Турли шовқинли товушлар аниқ бир частотага эга бўлмаслиги билан музика товушларидан фарқ қилади.

20 000 Гц частотадан юқори бўлган механик тебранишларни ультратовушлар дейилади.

Ультратовушнинг тезлиги ҳам оддий товуш тезлиги кабидир.  $\lambda = \frac{v}{\nu}$  формуладан кўринадики, ультратовушнинг тўлқин узунлиги оддий товушникига қараганда анча кичик бўлади. Ультратовуш тўлқинларининг асосий фарқи шуки, уларни ингичка даста шаклида аниқ йўналтириш, яъни манбадан маълум йўналиш бўйича тарқатиш мумкин. Унинг бу хусусиятидан техникада кенг фойдаланилади.

### Саволлар

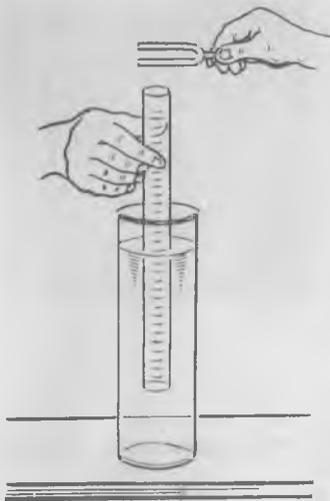
1. Ҳаво зарралари товуш тўлқинининг тарқалиш йўналишига нисбатан қандай йўналишда тебранади?
2. Тоннинг баландлиги нимага боғлиқ?
3. Товушнинг қаттиқлиги нимага боғлиқ?
4. Берилган муҳитда паст тонли товушлар тўлқини узунлиги каттароқ бўладими ёки юқори тонли товушларникими?

## 10. Товуш ҳодисалари

**Акустик резонанс.** Битта тизимчага осилган иккита маятник билан қилинган тажрибада, кузатилган резонанс ҳодисаси (қ: 15-расм) товуш тебранишлари учун ҳам ўринлидир.

Бир хил хусусий тебраниш частоталарига эга бўлган иккита камертонни ёнма-ён ўрнатамиз.

Тўқмоқча билан уриб, камертонлардан бирини, масалан, чапдагисини товуш чиқаришга мажбур қиламиз. Мазкур камертон шохчаларини қўл билан сиқиб олиб, уни товуш чиқаришдан тўхтатиб, иккинчи камертоннинг товуш чиқараётганини эшитамиз. Нима учун иккинчи камертон товуш чиқаради? Ахир унинг тебраниши тўқмоқча орқали амалга оширилгани йўқ-ку? Бунда худди маятникнинг мажбурий



26- расм.

тебраниши билан бўладиган тажрибага ўхшаш ҳол содир бўлганлиги кўриниб турибди. Иккинчи маятникнинг тебраниши унга биринчи маятникни туташтирувчи умумий тизимча орқали таъсири туфайли содир бўлган. Шу сингари, иккинчи камертон шохчаларининг тебранма ҳаракати ҳам унга биринчи камертон тебранишидан ҳосил бўлган товуш тўлқинларининг етиб келиши натижасида содир бўлган. Иккинчи камертон шохчалардан бирига пластилин бўлагини ёпиштириб, унинг хусусий тебраниш частотасини ўзгартирамиз. Бу ҳолда у биринчи камертон тебранишига ҳеч қандай жавоб қайтармайди. Биринчи камертон товушини йўқотсак ҳам, биз энди иккинчи камертон товушини эшита олмаймиз. Биринчи ҳолда камертонларнинг хусусий тебраниш частоталари мос тушиб, бунда резонанс рўй берган эди: иккинчи камертоннинг амплитудаси унинг товуши эшитиладиган даражада катта эди. Иккинчи ҳолда эса

тебранишлар частотаси мос тушмайди, натижада резонанс рўй бермайди ва шунинг учун иккинчи камертоннинг товуши эшитилмайди.

**Камертондан бошқа нарсаларда ҳам резонанс содир бўлади.** Камертон тебранишига фақат бошқа камертон эмас, балки трубалардаги ҳаво устуни ҳам жавоб қайтариши мумкин. Товуш чиқараётган камертонни бир учи сувли идишга ботирилган шиша найга яқинлаштирамиз (26- расм). Найни сувга ботириб, ёки сувдан чиқариб ҳаво устуни узунлигини ўзгартирамиз. Ҳаво устунининг маълум бир узунлигида камертон чиқараётган товушнинг кучайганини эшитамиз. Агар найдаги ҳаво устуни узунлигини ўзгартирсак, камертон товуши пасаяди. Найдаги ҳаво устунининг тебраниш частотаси камертоннинг тебраниш частотаси билан мос тушганда товушнинг кучайиши юз беради. Бу ҳодиса резонанс ҳодисасидир. Резонанс ҳосил қиладиган бир томони суюқлик билан тўсилган най резонатор деб аталади. Нима учун камертонларни бир томони очик қутичаларга маҳкамланиши сабабини энди осон тушуниш мумкин. Ҳар бир камертон учун ишланган маълум ўлчамдаги қутичалар уларнинг товушини кучайтирадиган резонатор бўлиб хизмат қилади (қ: 22- расм). Духовой асбобларнинг трубалари, орган музыка асбоб трубалари, скрипка ва бошқа торли асбобларнинг корпуслари (қоринлари) резонатор бўлиб хизмат қилади.

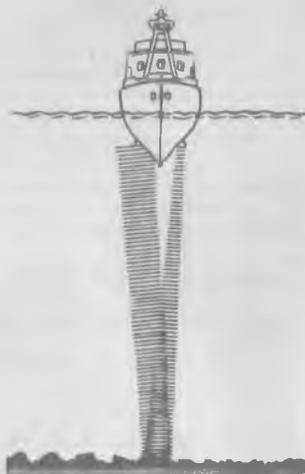
Инсон ҳам ўз товушини кучайтирувчи оғиз бўшлиғи каби резонаторга эга.

**Товушнинг қайтиши.** Акс садо. Баъзи товуш ҳодисалари билан биз болалик пайтимиздан танишмиз. Шундай ҳодисаларга биринчи галда акс садо мисол бўлади. Акс садони биз тоғ, ўрмон, катта иморатларнинг деворлари каби тўсиқлардан қайтган товуш сифатида эшитамиз. Бироқ фақат қайтган товуш бошланғич товушдан ажратилган ҳолда қабул қилинган ҳолдагина акс садо ҳосил бўлади. Инсон қулоғи бир-биридан ажралиш фарқи  $1/15$  с дан кам бўлмаган вақтни ташкил этган товушларни алоҳида қабул қила олади. Демак,

тўсиққача бўлган ( $s$ ) масофани товуш (икки марта, яъни  $2s$  масофа) ўтиш вақти  $1/15$  с давомида амалга ошса, акс садони эшита оламиз. Чунки товушнинг ҳаводаги тезлиги маълум бўлгани туфайли, бу масофани осон ҳисоблаш мумкин:

$$v = \frac{2s}{T}, \text{ бундан } s = \frac{vt}{2}.$$

**Акс садонинг қўлланилиши. Эхолокация.** Маълумки, кўршапалаклар қоронғида атрофдаги буюмларга туртилиб кетмасдан ва ҳатто ўзига озуқа ҳам топиб осон учиб юради. Дельфинлар ҳам шундай хусусиятга эга бўлиб, лойқа сувларда ўз йўналишини тўғри танлай олади. Бундай ҳолларда кўриш вазифасини нима бажара олади? Ультратовуш тарқатадиган ва тўсиқлардан қайтгандан сўнг уларни қабул қила оладиган организмларга эга бўлган бир қатор ҳайвонлар мавжуд экан. Улар ультратовушни буюмларга илгичка даста шаклида аниқ йўналтириб ва қайтган товуш сигналининг кечикиш вақтига қараб буюмнинг жойлашиш ўрни ва унғача бўлган масофани олдиндан билиш имконига эга.



27- расм.

Ультратовушнинг тўсиқлардан қайтиш ҳодисасидан кема қатновида денгиз тубигача бўлган масофани аниқлашда, туман ёки тунда айсберглар, қарама-қарши келаётган кемалар ўрнини аниқлашда, баликлар тўдасини топишда ва ҳоказоларда фойдаланилади.

Жисмлар ўрнини улардан қайтган ультратовуш сигнали бўйича аниқлашга асосланган усуллар *эхолокация* деб юритилади.

*Эхолокаторлар* деб аталган махсус асбоблар ёрдамида сув ости кемалар, шунингдек сув ости кемалардан туриб сув сиртидаги кемаларнинг ўринлари аниқланади. Эхолокатор ультратовуш сигналларини тарқатувчи манбадан ва кеманинг остига маҳкамланган сигнал қабул қилгичдан иборат (27- расм). Эхолокатор, шунингдек қайтувчи сигналларни кечикиб келиш вақтини аниқловчи қурилмага ҳам эга.

Ультратовушдан машина деталларидаги турли нуқсонлар ва камчиликларнинг (бушлиқ, дарзлар, қўшимча ёпишмалар) ўрнини аниқлашда ҳам фойдаланилади.

Медицинада ультратовушдан касал танасидаги турли аномалиялар (организм ва унинг қисмлари шаклидаги бузилишлар ва шишлар ҳ. к.) ни аниқлашда фойдаланилади. Ультратовушдан кўпгина касалликларни даволашда ҳам фойдаланилади.

#### Саволлар

1. Акустик резонанс нима?
2. Нима учун камертон оёқчаси ёғоч қутичага маҳкамланади?
3. Акустик резонанс ҳодисасини қандай қилиб қайд қилиш мумкин?
4. Акс садо нима?
5. Акс садони тўсиқдан исталган масофада эшитиш мумкинми?
6. Акс садо орқали қандай қилиб тўсиққача бўлган масофани аниқлаш мумкин?
7. Акс садонинг қандай амалий қўлланишларини биласиз?

5- машқ

1. Кузатувчи тепловознинг ҳуштак товушини ҳуштак трубасидаги буғ оқимини кўргандан 2 с кейин эшитди. Кузатувчи тепловоз ҳуштак чалган вақтда тепловоздан қанча масофада турган бўлади? (Товушнинг ҳавода тарқалиш тезлигини бу ва бундан кейинги масалаларда 340 м/с деб олинг).

2. Акс садо тўсиқдан қандай минимал масофада эшитилиши мумкин?

3. Агар денгиз тубига йўналтирилган ультравовуш 1,2 с кейин қайтиб келган бўлса, денгиз чуқурлиги қанча бўлган? Товушнинг сувдаги тезлиги  $\approx 1480$  м/с.

4. Товуш тони баландликлари: а) 80 Гц; б) 1400 Гц бўлган одам овозининг товуш тўлқини узунлигини топинг.

## Лаборатория иши

### Маятник ёрдамида эркин тушиш тезланишини аниқлаш

И ш н и н г м а қ с а д и: математик маятник тебраниш даврини ифодаловчи

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

формула ёрдамида эркин тушиш тезланишини ҳисоблаш.

Бунинг учун маятникнинг узунлиги ва тебраниш даврини ўлчаш керак. У ҳолда (1) формуладан эркин тушиш тезланишини ҳисоблаб топиш мумкин:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (2)$$

Асбоблар: секунд стрелкали соат, ўлчов лентаси ( $\Delta_d = 0,5$  см).

М а т е р и а л л а р: тешик шарча, ип, муфтала ва ҳалқали штатив.

#### Ишни бажариш тарғиби

1. Штативни стол четига ўрнатинг. Унинг юқори учига муфта ёрдамида ҳалқани маҳкамлаб, унга ипли шарчани осинг. Осилган шарча полдан 3—5 см баландда бўлиши керак.

2. Шарчани мувозанат ҳолатдан 5—8 см масофа оғдиринг ва қўйиб юборинг.

3. Маятникнинг узунлигини ўлчов лента ёрдамида ўлчанг.

4. 40 та тебраниш ( $N$ ) учун кетган вақт  $\Delta t$  ни ўлчанг.

5.  $\Delta t$  вақтнни ўлчашни тақрорланг (тажриба шартини ўзгартирмасдан) ва  $\Delta t_{ур}$  нинг ўртача қийматини аниқланг.

6.  $\Delta t_{ур}$  нинг қийматига кўра  $T_{ур}$  тебраниш даврининг ўртача қийматини ҳисобланг.

$$T_{ур} \cdot g_{ур} = \frac{4\pi^2 l}{T_{ур}^2} \quad (3)$$

формула бўйича  $g_{ур}$  нинг қиймати ҳисоблансин.

8. Топилган қийматларни жадвалга ёзинг:

Тажриба номери	$l, \text{ м}$	$N$	$\Delta t, \text{ с}$	$\Delta t_{ур}, \text{ с}$	$T_{ур} = \frac{\Delta t_{ур}}{N}$	$g_{ур}, \text{ м/с}^2$	
1							
2							
3							

9.  $g_{ур}$  нинг топилган қийматини  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  билан таққосланг ва ўлчашдаги нисбий хатоликни  $E_g = \frac{|g_{ур} - g|}{g}$  формула бўйича ҳисобланг.

## Машқларнинг жавоблари

№ 1. 1.  $\approx 3,2$  Гц. 2.  $\approx 30$  Н/м. 3. 0,02 кг.

№ 2. 1. 1,25 с; 0,8 Гц. 2.  $\approx 0,25$  м;  $\approx 1$  м. 3.  $\approx 20$  с;  $\approx 8,5$  м. 4.  $\approx 5$  с.

№ 4. 1. 3,2 м/с. 2. 2 м.

№ 5. 1. 680 м. 2.  $\approx 11,3$  м. 3.  $\approx 900$  м. 4.  $\approx 4,2$  м;  $\approx 0,24$  м.

## МУНДАРИЖА

### 1-б о б. Механик тебранишлар

Такрорланадиган ҳаракат.....	3
1. Пружинга мяхкамланган жисмнинг тебраниши.....	3
2. Тебранима ҳаракатдаги жисм энергияси.....	5
3. Тебранима ҳаракатнинг геометрик модели.....	6
Масала ечиш намунаси.....	10
1- машқ .....	10
4. Математик маятник.....	10
Масала ечиш намуналари.....	14
2- машқ .....	14
5. Эркин тебранишлар. Тебранишларнинг сўниши.....	15
6. Мажбурий тебранишлар.....	16
3- машқ .....	19

### 2-б о б. Тўлқинлар

Тебранишлар нуқтадан-нуқтага узатилади.....	19
7. Тўлқин нима?.....	20
8. Тўлқиннинг икки тури.....	22
4- машқ .....	24

### 3-б о б. Товуш тўлқинлари.....

Инсон товушлар дунёсида яшайди.....	24
9. Товушнинг тарқалиши — товуш тўлқинлари.....	24
10. Товуш ҳодисалари.....	27
5- машқ .....	30
Лаборатория иши.....	30
Машқларнинг жавоблари.....	30

*На узбекском языке*

Абрам Константинович Кикоин  
Сергей Яковлевич Шамаш  
Эсфирь Ефимович Эвенчик

## МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Вкладыш к учебнику физики для 8 класса  
средней школы

Перевод соответствует русскому изданию  
издательства «Просвещение», М., 1986 г.

Ташкент «Ўқитувчи» 1988

Таржимон Б. Мирзахмедов  
Редактор М. Пулатов  
Расмлар редактори С. Соип  
Тех. редакторлар: Е. Картаева, Э. Вильданова  
Корректор М. Махмудхўжаева

ИБ № 4872

Теришга берилди 29.09.87. Босишга рухсат этилди 02.03.88. Формати 60×90/16. Офсет қоғози.  
Кегль 9 шпонсия. Школьная гарнитураси. Офсет босма усулида босилди. Шартли б. л. 2,0. Шартли  
кр.-отт. 2,125. Нашр. л. 2,13. Тиражи 400000. Зак. № 2044. Ваҳоси 5 т.

«Ўқитувчи» нашриёти. 700129. Тошкент, Навоий кўчаси, 30. Шартнома 18-107-87.

ЎзССР нашриётлар, полиграфия ва китоб савдоси ишлари Давлат комитети Тошкент «Матбуот»  
полиграфия ишлаб чиқариш бирлашмасининг Бош қорхонаси. Тошкент, Навоий кўчаси. 30. 1988.

Головное предприятие ТППО «Матбуот» Государственного комитета УзССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Ташкент, Навои, 30.