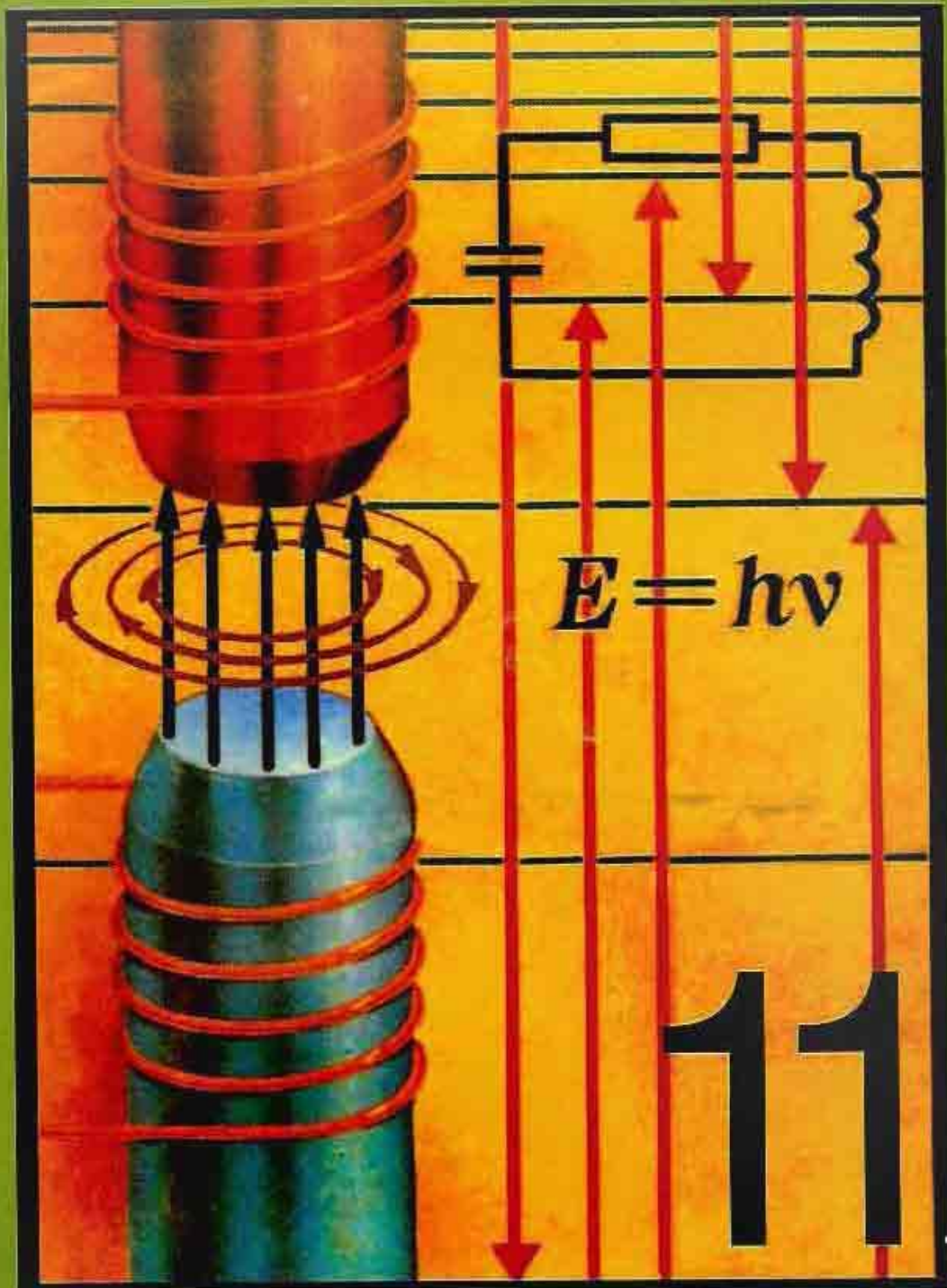


Г. Я. Мякишев  
Б. Б. Буховцев

# ФИЗИКА



# ШКАЛА (МИҚЁС)-И ТОБИ

## ТОБИШИ ВИБРАТОР

Дарозии мавҷ, м

$10^5$   $10^4$   $10^3$   $10^2$

Басомад, Ҳз

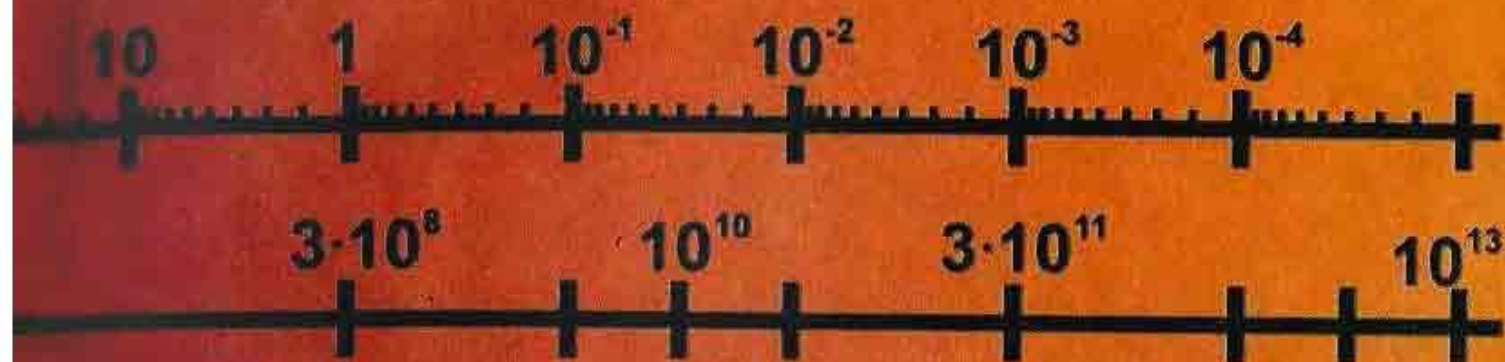
$3 \cdot 10^2$   $10^4$   $3 \cdot 10^5$   $10^6$

## ЛАРЗИШҲОИ ПАСТБАСОМАД

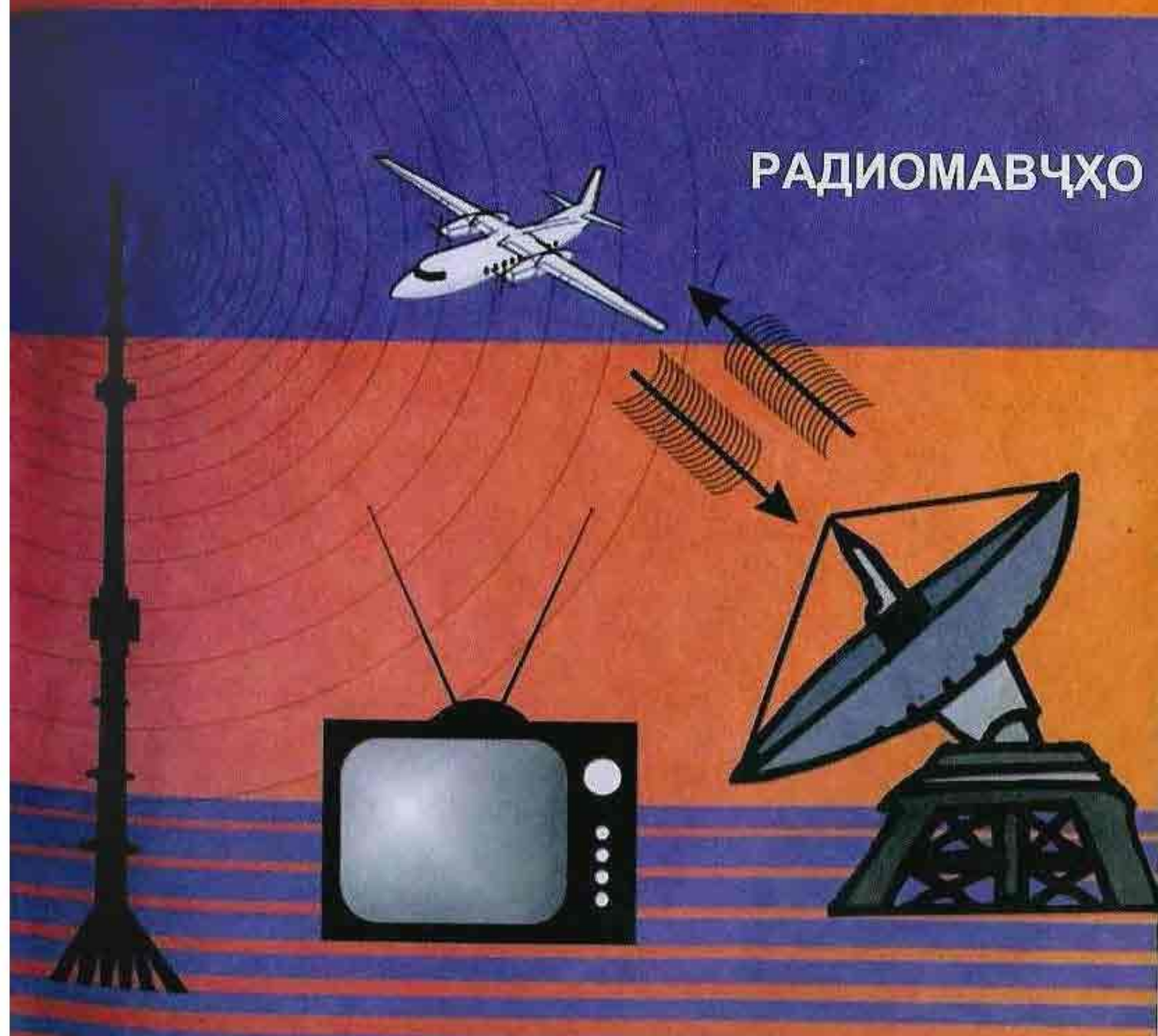


# ШҶОИ ЭЛЕКТРОМАГНИТӢ

## ҶОИ ЭЛЕКТРОМАГНИТӢ



### РАДИОМАВҶҶО



ББК 74.26 Я72

М 80

Муаллифҳо: **Мякишев Геннадий Яковлевич**  
**Буховсев Борис Борисович**

Мухаррир: **Фарҳод Раҳимӣ,**  
доктори илмҳои физика  
ва математика

*Китоби дарсӣ дар доираи Гранти Cathalytic Fund  
нашр шудааст.*

Хонандаи азиз!

Китоб манбаи донишу маърифат аст. Ойро эҳтиёт кунед. Кӯшиш кунед, ки ин китоб соли хониши оянда ҳам қобили истифода бошад.

Истифодаи иҷоравии китоб:

№	Ному насаби хонанда	Синф	Соли таҳсил	Ҳолати китоб (баҳои китобдор)	
				Аввали соли хониш	Охири соли хониш
1					
2					
3					
4					
5					

ISBN 978-99947-721-0-0

М  $\frac{4306020600 - 114}{418(05) - 2000}$  99

ББК 74.26 Я72

## АНДАРЗ

Дар китобҳои дарсии физикаи синфҳои IX ва X сухан асосан аз хусуси физикаи классикӣ андар миён буд. Ба масъалаҳои замонавии физика бошад, мо танҳо дар мавридҳои сару кор гирифта будем, ки сухан дар бораи истифодаҳои техникий ин соҳаи илм (корбасти асбобҳои нимноқилӣ, истифодаи абарноқилият ва ғ.) рафта бошад.

Қисми зиёди китоби дарсии «Физика, 11» ба физикаи муосир бахшида шудааст. Ин ҷо дар бораи назарияи нисбият, назарияи квантӣ, физикаи ҳастаҳои атомӣ ва зарраҳои бунёди сухан хоҳад рафт.

Дар назари шумо, хонандаи азиз, шояд чунин намояд, ки омӯзиши маҳз ҳамин қисми физика аз ҳама мушкилтар бошад. Вале дар асл боби душвортарин боби «Ларзишҳои электромагнитӣ» аст. Ин «каҷроҳӣ» бо он алоқаманд аст, ки забони риёзии баёни қонуниятҳои физикаи муосир хеле мураккаб шудааст, яъне мо хоҳу нохоҳ маҷбур мешавем, ки дар мактаби миёна физикаи муосирро танҳо дар дараҷаи сифатӣ, қариб бе истифодаи риёзиёт биомӯзем.

Аммо назарияи ларзишҳо (ё худ навасонот)-ро дар заминаи дониши аз таҳлили риёзӣ андӯхтаи шумо амиқтар муойина кардан мумкин аст. Ин масъала аҳамияти амалӣ дорад. Чунончи, назарияи ҷараёни тағйирёбанда саропо назарияи ларзишҳои электромагнитии маҷбурӣ мебошад. Дигар ин, ки дар омӯзиши физика ворӣ илми миқдорӣ дақиқ танҳо бо тавсифи сифатӣ рӯйдодҳои физикӣ маҳдуд шудан нодуруст мебуд. Дар акси ҳол дар бораи ин илм тасавури камобеш сахт ҳосил кардан муҳол аст.

Дар физикаи синфи IX ларзишҳои механикӣ дар доираи содатарин маълумоти риёзӣ муойина шудааст. Шумо дар оғози омӯзиши ларзишҳои электромагнитӣ ба ҳулосае меоед, ки ларзишҳои механикӣ ва электромагнитӣ бо ҳамон як қонунҳои риёзӣ тавсиф мешаванд. Баъд шумо бо тавсифи амиқтари ларзишҳо ошно мешавед.

Тартиби мутолиъаи китоби дарсӣ ба шумо аз пешгуфтори «Физика 10» маълум аст. Истифодаи ҳамон тавсияҳо барои шумо дар омӯзиши китоби дарсии «Физика, 11» низ судманд меояд.

## (ИДОМАН)ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Мо дар физикаи синфи X майдонҳои электрикӣ ва магнитии бо мурури замон тағйирнаёбанда, яъне майдонҳои электрикӣ ва магнитии собит (дойимӣ)-ро муойина кардем. Он ҷо барои шумо рӯшан гашта буд, ки майдони электростатикиро зарраҳои барқаманд (зарраҳои электрон)-и беҳаракат, вале майдони магнитиро ҳамон гуна зарраҳои дарҳаракат (ё худ ҷараёни электрикӣ) ба вучуд меоваранд.

Биёед мутолиъаи ин мавзӯҳоро аз омӯзиши майдонҳои электрикӣ ва магнитии бо мурури замон тағйирёбанда оғоз кунем.

### Боби 1. Индуксияи электромагнитӣ (илқои электромагнитӣ)

Ошкор гардидани иртиботи мутақобили майдонҳои электрикӣ ва магнитӣ бисе муҳим аст. Майдони магнитии бо мурури замон тағйирёбанда боиси пайдоиши майдони электрикӣ мегардаду майдони электрикии бо мурури замон тағйирёбанда – боиси пайдоиши майдони магнитӣ. Бе ин гуна иртиботи байни майдонҳои электрикӣ ва магнитӣ зухуроти қувваҳои электромагнитӣ то он ҷо, ки воқеъан ҳаст, рангоранг намебуд, на мавҷҳои радио вучуд меошуду на рӯшноӣ ва на бисёр чизҳои дигар.

### § 1. Кашфи индуксияи электромагнитӣ (илқои электромагнитӣ)

Соли 1821 Майкл Фарадей дар дафтари лаборатории худ чунин навишт: «Магнетизмро ба электр табдил додан меояд». Ва ӯ баъди 10 сол ба ҳалли ин масъала муваффақ гашт.

Тасодуфӣ нест, ки дар роҳи кашфи хосиятҳои нави таъсироти мутақобили электромагнитӣ қадами ҳалқунандаро бунёдгузори тасаввуроти марбут ба майдони электромагнитӣ Фарадей ниҳодааст. Ӯ ба ягонагии табиъати падидаҳои электрикӣ шакке надошт. Дар ин чода Фарадей кашфиёте кард, ки он баъдҳо заминаи эҷоди генераторҳои табдилдиҳандаи энергияи механикӣ ба энергияи ҷараёни электрикӣ гардидааст. Бояд гуфт, ки батареҳои гальванийӣ, аккумуляторҳо (анбораҳо) ва дигар манбаъҳои ҷараёни электрикӣ ҳиссаи ноҷизи энергияи электрикии истеъмолшавандаро ҳосил мекунанд.

Ҷараёни электрикӣ, фикр мекард Фарадей, метавонад, ки порчаи оҳанро магнитнок кунад. Магар магнит дар навбати худ наметавонад, ки ҷараёни электрикӣ ба вучуд биёрад? Робитаи ин ду падидаро муддати тӯлоние ошкор кардан муяссар намегашт. Дар ин роҳ дарки мабдаъи асосӣ бағоят мушкил буд: фаҳмидан осон набуд, ки танҳо магнити дарҳаракат ё майдони магнитии бо мурури замон тағйирёбанда метавонад дар ғалтак ҷараёни электрикӣ ба вучуд биёрад.

Ҳикояти зерин далел аст, ки чодаи машғулоти илмӣ чӣ тасодуфҳо дошта метавонад. Қариб ҳамзамон бо Фарадей олими суисӣ (швейсариягӣ) Колладон низ мекӯшид, ки ба воситаи магнит дар ғалтак ҷараёни электрикӣ ба вучуд биёрад. Ӯ гальванометреро истифода мекард, ки ақрабаки сабуке дошт ва он ақрабак андаруни ғалтаки асбоб ҷойгир буд. Барои он ки магнит ба ақрабак асари бевосита надошта бошад, Колладон нӯгҳои сими ғалтакро то ҳӯҷраи ҳамсоя кашида, ҳамон чо онҳоро бо гальванометр васл кард. Баъд ӯ магнитро андаруни ғалтак ҷой дода, боз ба ҳӯҷраи гальванометрдор даромад ва ғайри чашмдошти худ ҳайрон монд, ки ҷаро гальванометр аз ҷараёни электрикӣ нишоне надорад. Аммо агар ӯ дастереро маъмури магниту ғалтак мекарду худ ба мушоҳидаи рафтори ақрабаки гальванометр мепардохт, бешак, ин кашфиёти аҷиб насибаш мегардид. Вале ин тавр нашуд, зеро магнити нисбат ба ғалтак беҳаракат дар занҷири ғалтак ҳеч гуна ҷараён ба вучуд намеоварад. (Колладон дар лаҳзаҳои ба ғалтак даровардан ва аз он баровардани магнит рафтори ақрабаки

галванометрро мушоҳида карда наметавонист).

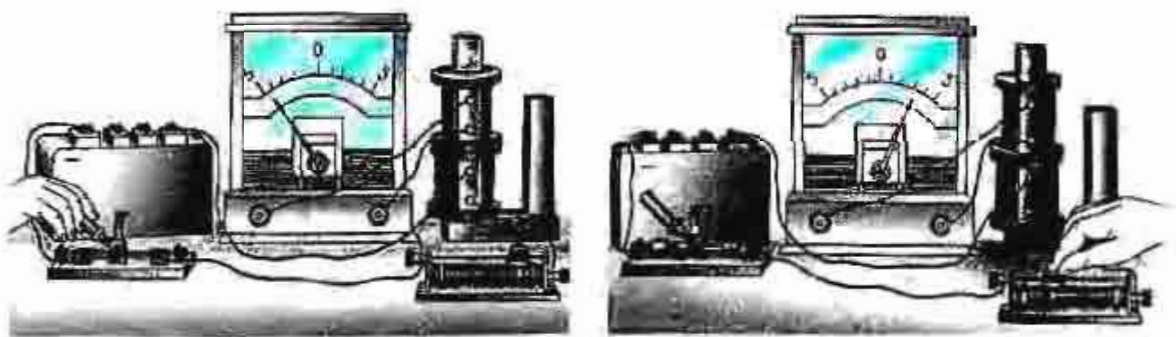
*Моҳияти падидаи индуксияи электромагнитӣ ин аст: дар ноқилконтуре, ки ё дар майдони магнитии бо мурури замон тағйирёбанда беҳаракат бошад ё дар майдони магнитии собит (дойимӣ) тавре ҳаракат кунад, ки адади хатҳои индуксияи магнитии контурро бурранда тағйир ёбад, дар он контур ҷараёни электрикӣ ба вуҷуд меояд. Ин падида 29 августи с. 1831 кашф шудааст. (Басе кам воқеъ мешавад, ки санаи ин гуна кашфиёти муҳим ба дурустӣ маълум бошад).*

Сараввал падидаи индуксияи электромагнитӣ дар ноқилҳое кашф шуда буд, ки нисбат ба якдигар беҳаракат мехобиданд ва танҳо ҳангоми кандан ё пайвастании занҷир дар онҳо ҷараёни электрикӣ ҳосил мегардид.

Фарадей ба хубӣ дарк мекард, ки ҳангоми ба якдигар наздик бурдан ё аз якдигар дур кардани ноқилҳо низ ҳуди ҳамон натиҷа (мисли мавриди кандан ва пайвастании занҷир) мушоҳида мешавад. Дар ҳамин замина ӯ таҷрибаи дигаре карда, нишон дод, ки ҳангоми нисбат ба якдигар ҳаракат додани ғалтакҳо низ дар занҷир ҷараён ба вуҷуд меояд. Фарадей, ки бо асарҳои Ампер ошно буд, мефаҳмид, ки магнит ҷисмест иборат аз маҷмӯи ҷараёнҳои хурдхурди дар молекулаҳо гардон. Рӯзи 17 октябри ҳамон сол (чунонки дар дафтари лаборатории Фарадей сабт аст), ҷараёни индуксионие ошкор гашт, ки дар ғалтак дар лаҳзаи ба он даровардан ё аз он баровардани магнит ба вуҷуд меояд.

Ҳамин тарик, Фарадей дар муддати ҳамагӣ як моҳ қариб ҳама хусусиятҳои муҳимтарин падидаи физикӣ – илқои электромагнитиро дар таҷриба дарк кард.

Дар замони мо таҷрибаҳои Фарадейро ҳар кас такрор карда метавонад. Барои ин танҳо ду ғалтак, як магнит, аккумулятор



Рас. 1.



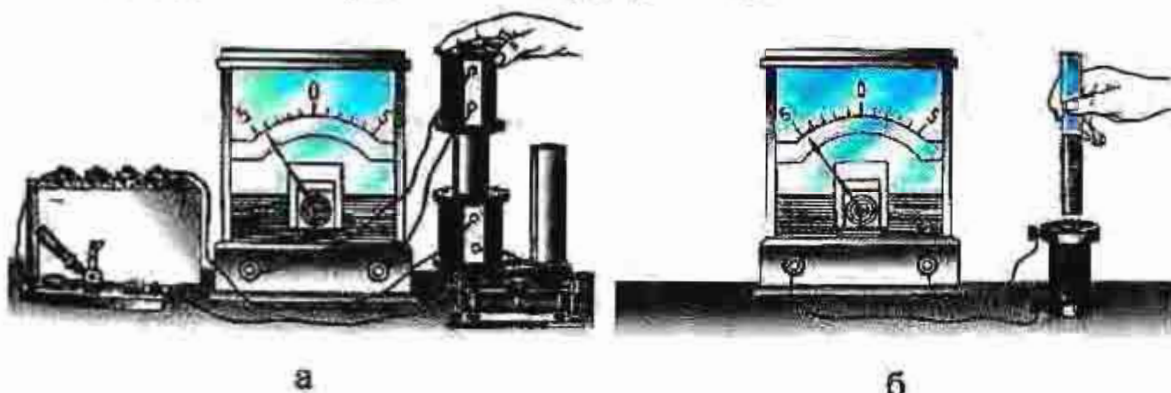
ё батареи галванийӣ ва як галванометри ба қадри кофӣ ҳассос зарур аст.

Дар дастгоҳе, ки дар рас.1,*а* тасвир ёфтааст, чараёни индуксионӣ дар яке аз ғалтакҳо дар лаҳзаи қандан ё пайвастании занҷири электрикӣ ғалтаки дигар (ки нисбат ба ғалтаки аввал беҳаракат аст) пайдо мешавад. Дар таҷрибаҳои дигар чараёни индуксионӣ дар сурати ба воситаи реостат дар яке аз ғалтакҳо тағйир додани қувваи чараён (рас.1,*б*) ё дар сурати нисбат ба якдигар ҳаракат додани ғалтакҳо (рас.2,*а*) ё дар мавриди нисбат ба ғалтак ҳаракат додани магнити дойимӣ (рас. 2,*б*) ҳосил мешавад.

Умумияти алоқаманд бо онро, ки пайдоиши чараёни индуксионӣ дар таҷрибаҳои гуногун ба чӣ бастагӣ дорад, ҳанӯз ҳуди Фарадей пай бурда буд.

Дар *ноқилконтуре* сарбаст (контуре чараённаклқунандаи сарбаст) ҳангоми тағйир ёфтани адади хатҳои индуксияи магнитие, ки аз тариқи масоҳати маҳдудкардаи контур мегузаранд, чараёни индуксионӣ ба вучуд меояд. Ва ҳар қадре ки адади хатҳои индуксияи магнитӣ зудтар тағйир пазирада, бузургии чараёни индуксионӣ ҳамон қадр бештар хоҳад буд. Дигар ин ки дар ин маврид сабаби тағйир пазируфтани адади хатҳои индуксияи магнитӣ аҳамияте надорад.

Ин сабаб ду сарчашма дорад: 1) тағйироти адади хатҳои аз хатҳои индуксияи магнитӣ, ки дар натиҷаи дар ғалтаки ҳамсоя тағйир ёфтани қувваи чараён пайдо шуда, ба сатҳи контуре ноқили беҳаракат мезананд (рас.1,*б*) ва 2) тағйироти адади хатҳои индуксия дар натиҷаи дар майдони магнитии ғайриҷинсае, ки зичии хатҳои қуввагаш дар фазо тағйир меёбад, ҳаракат кардани контур (рас. 3).



Рас.2.

Дар ноқилконтуре сарбаст дар сурате чараёни электрикӣ ба вучуд меояд, ки контур дар майдони магнитии тағйирёбанда воқеъ бошад ё дар майдони магнитии дойимӣ тавре ҳаракат кунад, ки адади хатҳои индуксияи магнитии аз тариқи контур гузаранда (яъне хатҳои қуввагии ба контур зананда) тағйирёбанда бошад.



Рас.3.



1. Фарқи асосии майдонҳои электрикӣ ва магнитии тағйирёбанда аз майдонҳои электрикӣ ва магнитии дойимӣ дар чист?
2. Индуксияи электромагнитӣ (яъне илқои электромагнитӣ) чӣ гуна пайда аст?
3. Ноқилконтуре сарбаст дар майдони магнитии якҷинсаи ба вақт новобаста чӣ тавр – пешраванда ё гардишхӯранда – ҳаракат кунад, ки дар он чараёни индуксионӣ ба вучуд ояд?

## §2. Сели магнитӣ

Барои фароҳам овардани таърифи миқдории саҳеҳи қонуни индуксияи электромагнитии Фарадей сели индуксияи магнитӣ ном мафҳумро истифода кардан маълум аст.

Майдони магнитиро дар ҳар нуқтаи фазо вектори индуксияи магнитӣ  $\mathbf{B}$  тавсиф медиҳад. Гайр аз ин боз як бузургии дигарро истифода кардан мумкин аст, ки ба қиматҳои вектори  $\mathbf{B}$  на дар як нуқта, балки дар ҳама нуқтаҳои сатҳи фарогирифтаи контуре сарбастии ҳамвор бастагӣ дорад.

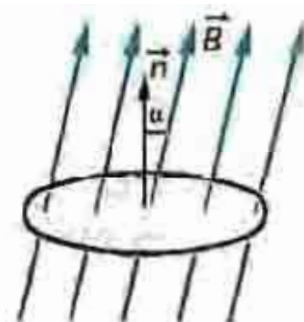
Барои ин, биёед, ноқили сарбастии ҳамворе (контуре)-ро гирем, ки масоҳати  $S$  дорад ва дар майдони магнитии якҷинса воқеъ аст. Кунчи байни нормали  $\mathbf{n}$  (ба ҳамвории ноқил) ва самти вектори илқои магнитӣ  $\mathbf{B}$ -ро бо  $\alpha$  ишорат мекунем (рас.4). Сели магнитӣ (сели индуксияи магнитӣ)-и  $\Phi$  аз тариқи сатҳи  $S$  гуфта бузургииеро мефаҳманд, ки ба ҳосили зарби модули вектори индуксияи магнитӣ  $\mathbf{B}$ , масоҳати  $S$  ва косинуси кунчи байни векторҳои  $\mathbf{B}$  ва  $\mathbf{n}$  баробар мебошад:

$$\Phi = BS \cos\alpha. \quad (1.1)$$

Ҳосили зарби  $B \cos\alpha = B_n$  соятасвир (проексия)-и ба нормали  $n$  афкандаи вектори индуксияи магнитиро ифода мекунад.

Пас, чунин навиштан мумкин аст:

$$\Phi = B_n \cdot S. \quad (1.2)$$



Рас.4.

Сели магнитиро чун бузургие шарҳ додан мумкин аст, ки он ба адади хатҳои индуксияи магнитии ба масоҳати  $S$  зананда мутаносиб мебошад.

Воҳиди сели магнитӣ *вебер* ном гирифтааст. Сели магнитии баробар ба 1 вебер (1 Вб)-ро майдони магнитии якҷинсае ба вучуд меоварад, ки аз тариқи сатҳи нисбат ба вектори индуксияи магнитӣ амудан воқеъшудаи масоҳаташ  $1 \text{ м}^2$  индуксияи 1 Тл (тесла) дошта бошад.

\* \* \* \* \*

Сели индуксияи магнитӣ тақсимои майдони магнитиро дар сатҳи фарогирифтаи контури сарбаст ифода мекунад.

### §3. Самти ҷараёни идуксионӣ (ҷараёни илқоӣ). Қоидаи Ленс

Биёед, акнун масъалаи самти ҷараёни индуксиониро, ки бисёр муҳим аст, рӯшан кунем.

Ғалтаке мегирем, ки дар он ҷараёни индуксионӣ ба вучуд меояд ва онро ба галванометр мепайвандем. Ба осонӣ дидан мумкин аст, ки дар мавридҳои ба ғалтак наздик бурдан ё аз он дур кардани яке аз қутбҳои магнит самти ин ҷараён тағйир меёбад (ниг. рас.2,б).

Ҷараёни индуксионӣ бо магнит як навъ таъсири мутақобил мекунад – ҷараён вобаста ба самти худ магнитро ҷазб мекунад ё онро тела медиҳад. Ғалтаке, ки аз он ҷараён ҷорист, ба магнит (магнити соҳиби қутбҳои шимол ва ҷануб) монандӣ дорад. Самти ҷараёни индуксионӣ нишон медиҳад, ки кадом нӯги ғалтак маънии «қутби шимол» дорад (хатҳои индуксияи магнитӣ аз ҳамин қутб ибтидо мегиранд).

Дар асоси қонуни бақои энергия гуфтан мумкин аст, ки дар кадом маврид ғалтак магнитро ҷазб мекунаду дар кадом маврид онро тела медиҳад.

*Таъсири мутақобили ҷараёни индуксионӣ ба магнит.* Агар магнитро ба ғалтак наздик кунем, ҷараёни индуксионии дар ин маврид дар ғалтак пайдошаванда самте хоҳад дошт, ки магнитро ҳатман тела медиҳад. Барои ба якдигар наздик бурдани магнит ва ғалтак кори мусбат иҷро кардан мебояд, яъне ғалтак монанди магнитест, ки ин ё он қутбаш сӯйи ҳамон гуна қутби магнити ба он наздикшаванда нигарон мешавад. Аммо агар қутбҳо якхела бошанд, онҳо тела меҳӯранд.

Тасаввур кунед, ки агар акси ин ҳол воқеъӣ мебуд, ҳангоми магнитро сӯйи ғалтак бурдан магнит худбахуд ба даруни ғалтак кашида мешуд. Вале ин ҳилофи қонуни бақои энергия мебуд, зеро дар ин маврид энергияи кинетикии магнит меафзуд ва ҷараёни индуксионӣ ба вучуд меомад, ҳол он ки ин бе сарфи энергия имконпазир нест. Ба иборати дигар гӯем, дар ин сурат энергияи кинетикии магнит ва энергияи ҷарарён аз ҳеч, яъне бе сарфи энергия ба вучуд меоманд.

Дар сурати дур кардани магнит, баръакс, ба талаби қонуни бақои энергия бояд қувваи ҷазбкунанда пайдо шавад.

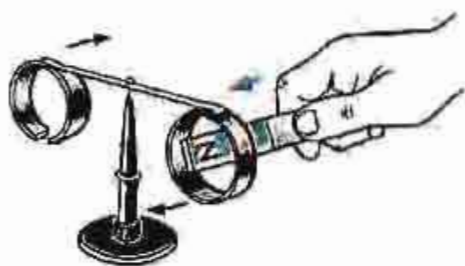
Дурустии ин хулосаро ба воситаи асбобе намоиш додан мумкин аст, ки он дар рас.5 тасвир ёфтааст. Дар нӯғҳои милае, ки гирди меҳвари амудӣ озодона гардиш хӯрда метавонад, ду ҳалқаи алюминӣ (яъне ҳалқаҳои ноқили ҷараён) маҳкам карда шудааст. Якеи он ҳалқаҳо ҷойи буридагӣ (чокӣ) дорад. Агар магнитро ба ҳалқаи том наздик барем, дар он ҷараёни индуксионӣ ба вучуд меояд: ин ҷараён тавре ҷорӣ хоҳад буд, ки ҳалқа аз магнит тела меҳӯрад ва миларо гардиш медиҳад. Агар магнитро аз ҳалқа дур кунем, ҳалқа, баръакс, сӯйи магнит ҷазб мешавад. Магнит бо ҳалқаи чок таъсири мутақобил намекунад, зеро дар ин маврид чоки ҳалқа монеъи пайдоиши ҷараёни индуксионӣ мегардад. Сӯйи ғалтак ҷазб шудан ё аз он тела хӯрдани магнит ба он вобаста аст, ки ҷараёни индуксионӣ дар ғалтак чӣ гуна самт дорад. Пас, қонуни бақои энергия имкон медиҳад, ки қоидаи муъайян кардани самти ҷараёни индуксиониро шакл бандем.

Таҷрибаҳои ба якдигар наздик кардан ва аз ҳам дур бурдани магниту ғалтак чӣ тафовут доранд? Гап дар он аст, ки дар мавриди аввал адади хатҳои ба печакҳои ғалтак занандаи индуксияи магнитӣ (ё худ сели магнитӣ) меафзояду (рас.6,а) дар мавриди дуюм мекоҳад (рас.6,б). Зимнан, дар мавриди аввал хатҳои индуксияи  $B$ -и майдони магнитие, ки онро ҷараёни индуксионӣ дар ғалтак пайдошуда ба вуҷуд овардааст, аз нӯги болои ғалтак берун меоянд (ғалтак магнитро тела медиҳад!), вале дар мавриди дуюм, баръакс, он хатҳо ба ҳамон нӯги болои ғалтак мезананд (медароянд). Ин хатҳои индуксияи магнитӣ дар расм бо ранги сиеҳ тасвир шудаанд.

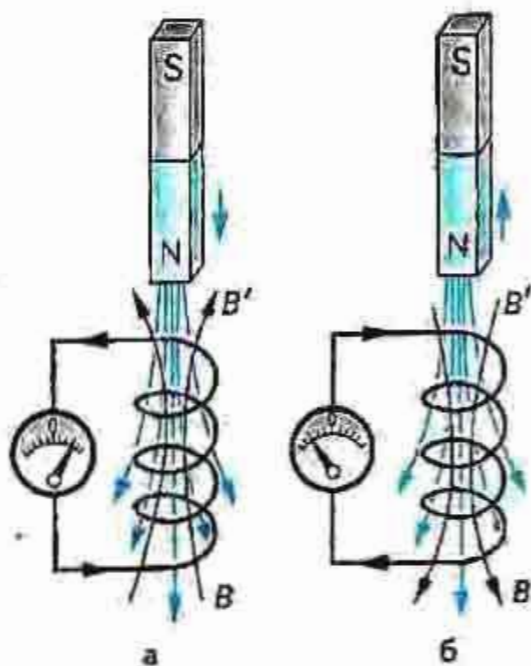
**Қоидаи Ленс.** Ана акнун ба хулосаи асосӣ расидем: ҳангоми афзудани сели магнитии ба печакҳои ғалтак зананда ҷараёни индуксионӣ тавре ҷорӣ мегардад (яъне самте хоҳад дошт), ки майдони магнитии зодаи он афзоиши сели магнитии ба печакҳои ғалтак занандаро монеъ мешавад. Дарвоқеъ, хатҳои индуксияи  $B$ -и ин майдон муқобили хатҳои индуксияи  $B$ -и майдоне равонаанд, ки тағйироти он боиси пайдоиши ҷараёни электрикӣ мегардад. Вале агар сели магнитии ба ғалтак зананда суст шавад, он гоҳ ҷараёни индуксионӣ майдони магнитии дорони индуксияи  $B$ -ро ба вуҷуд меоварад – дар натиҷа сели магнитии ба печакҳои ғалтак зананда меафзояд.

Ҳамин аст моҳияти қоидаи умумии муъайян кардани самти ҷараёни индуксионӣ. Ин қоида барои ҳама мавридҳо татбиқпазир мебошад. Онро олими рус Э. Ленс муқаррар кардааст.

Аз рӯи қоидаи Ленс ҷараёни индуксионӣ дар контури ғарбаст пайдошаванда бо



Рас.5.



Рас.6.

майдони магнитии худ монёи тағйироти сели магнитие мегардад, ки он ҳамин чараёро ба вуҷуд овардааст.

Қоидаи Ленсро барои ёфтани самти чараёни индуксионии  $I_1$  дар контур ба ин тартиб истифода кардан мебояд:

1) аввал самти хатҳои индуксияи магнитии майдони магнитии берунӣ  $B$ -ро муъайян кардан мебояд;

2) равшан кардан мебояд, ки сели индуксияи магнитии ин майдон аз тариқи сатҳи фарогирифтаи контур меафзояд ( $\Delta\Phi > 0$ ) ё мекоҳад ( $\Delta\Phi < 0$ );

3) самти хатҳои индуксияи магнитии  $B_1$ -и майдони магнитии чараёни индуксионӣ  $I_1$ -ро муъайян кардан зарур аст. Мувофиқи қоидаи Ленс ин хатҳо дар сурати  $\Delta\Phi > 0$  будан муқобили хатҳои  $B$ , вале дар сурати  $\Delta\Phi < 0$  будан – ба рафти онҳо равона мешаванд;

4) самти хатҳои индуксияи магнитии  $B_1$ -ро доништа, аз рӯйи қоидаи пармача (ниг. «Физика, 10», §61) самти чараёни индуксионӣ  $I_1$ -ро ёфтан мумкин аст.

\*\*\*\*\*

Самти чараёни индуксионӣ аз рӯйи қонуни бақои энергия муъайян карда мешавад. Чараёни индуксионӣ дар ҳама мавридҳо ба василаи майдони магнитии худ монёи тағйироти сели магнитии офарандаи ҳамин чараён мегардад.



1. Самти чараёни индуксионӣ (чараёни илқоӣ)-ро чӣ тавр муъайян кардан мебояд?
2. Чараёни индуксионӣ дар мисолҳои дар боло муойинашуда кадом сӯ равона аст?

#### §4. Қонуни индуксияи электромагнитӣ (илқон электромагнитӣ)

Қонуни индуксияи электромагнитиро таърифи миқдорӣ медиҳем. Таҷрибаҳои Фарадей нишон дод, ки қувваи чараёни индуксионӣ  $I_1$  дар ноқилконтур ба суръати тағйироти адади хатҳои индуксияи магнитие ( $B$ ) мутаносиб аст, ки онҳо ба сатҳи фарогирифтаи ин контур мезананд. Ин нуктаро дар заминаи мафҳуми «сели магнитӣ» шакли дақиқтар додан мумкин аст.

Сели магнитиро ба таври аёнӣ чун адади хатҳои индуксияи магнитие тасаввур кардан мумкин аст, ки ба сатҳи  $S$  мезананд. Бино бар ин суръати тағйироти адади ин хатҳо суръати тағйироти сели магнитиро ифода мекунад.

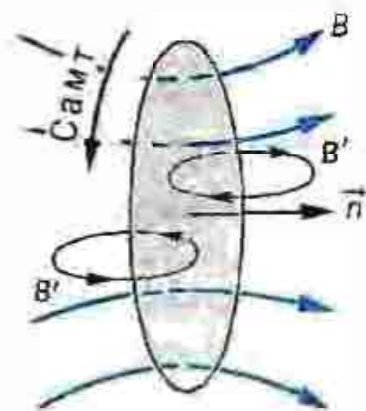
Агар сели магнитӣ дар муддати кӯтоҳи  $\Delta t$  ба кадри  $\Delta\Phi$  тағйир пазирад, он гоҳ суръати тағйироти сели магнитӣ маънии  $\Delta\Phi/\Delta t$  хоҳад дошт. Бино бар ин хулосаеро, ки бевосита аз таҷриба бармеояд, чунин шакл додан мумкин аст: қувваи ҷараёни индуксионӣ ба суръати тағйироти сели магнитие мутаносиб аст, ки он ба сатҳи фарогирифтаи контур мезанад:

$$I_i \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1.3)$$

**Қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚуМЭ)-и индуксия.** Дар занҷир он гоҳ ҷараёни электрикӣ ба вучуд меояд, ки ба барқаҳо (зарядҳо)-и озоди даруни ноқил қувваҳои ғайр таъсир биёранд. Кори ба қадди контури сарбаст кӯчондани барқани мусбати воҳидиро **қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚуМЭ)** мегӯем. Пас, ҳангоми тағйир ёфтани сели магнитии ба сатҳи фарогирифтаи контур зананда дар ин контур қувваҳои ғайре ба вучуд меоянд, ки таъсири онҳо бо **ҚуМЭ-и индуксия** ном қувваи муҳаррикаи электрикӣ таъсир мешавад. Онро бо ҳарфи  $\xi$  ишорат мекунад.

Мувофиқи қонуни Ом барои занҷири сарбаст  $I_i = \xi/R$  аст. Муқовимати ноқил ба тағйироти сели магнитӣ бастагӣ надорад. Пас, таносуби (1.3) танҳо аз он рӯ дуруст аст, ки ҚуМЭ-и индуксия ба  $\Delta\Phi/\Delta t$  мутаносиб мебошад.

**Қонуни индуксияи электромагнитӣ (илқои электромагнитӣ).** Қонуни индуксияи электромагнитӣ на барои қувваи ҷараён балки маҳз барои ҚуМЭ таъриф дода мешавад. Дар ин гуна таъриф қонуни номбурда онро ифода мекунад, ки моҳияти падидаи индуксияи электромагнитӣ ба хосиятҳои ноқилҳо бастагӣ надорад. Мувофиқи қонуни индуксияи электромагнитӣ **ҚуМЭ-и индуксия дар контури сарбаст модулан ба суръати тағйироти сели магнитие баробар аст, ки он ба сатҳи фарогирифтаи контур мезанад:**



Рас.7.

$$\varepsilon_i = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$$

Хуб, самти чараёни индуксионӣ (ё аломати ҚумЭ-и индуксия)-ро аз рӯи қоидаи Ленс дар қонуни индуксияи электромагнитӣ чӣ тавр ба эътибор гирифтаан мебояд?

Дар рас.7 контури сарбасте тасвир ёфтааст. Самти гардишро, ки муқобили рафти акрабаки соҳат аст, мусбат мегӯем. Нормали сатҳ (нормали контур)  $\mathbf{n}$  бо самти гардиши контур винти росттоб ташкил медиҳад.

Бигзор, индуксияи магнитии  $\mathbf{B}$ -и майдони магнитии берунӣ ба қадди нормали контур равона бошад ва бо мурури замон биафзояд. Он гоҳ  $\Phi_t > 0$  ва  $\Delta\Phi/\Delta t > 0$  хоҳанд буд.

Аз рӯи қоидаи Ленс чараёни индуксионӣ сели магнитие ба вучуд меоварад, ки барои он  $\Phi_t < 0$  аст. Хатҳои индуксияи  $\mathbf{B}_i$ -и майдони магнитии чараёни индуксионӣ дар рас.7 бо **ранги сиеҳ** тасвир ёфтаанд. Мувофиқи қоидаи пармача чараёни индуксионӣ ба рафти акрабаки соҳат (муқобили самти мусбати гардиши контур) равона аст ва ҚумЭ-и индуксия манфист. Бино бар ин дар ифодаи қонуни индуксияи электромагнитӣ барои ифодаи қардани ин, ки бузургҳои  $\varepsilon_i$  ва  $\Delta\Phi/\Delta t$  аломатҳои гуногун доранд, бояд аломати «минус» ояд:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1.4)$$

\*\*\*\*\*

*Қонуни индуксияи электромагнитӣ (1.4)-ро хотирнишон кардан мебояд, яъне фаҳмидан мебояд, ки қувваи муҳаррикаш электрикӣ (ҚумЭ)-и индуксионӣ чӣ маънӣ дорад ва сели магнитӣ чист.*



1. Сели магнитӣ (ё худ сели индуксияи магнитӣ) чист?
2. Сабаб чист, ки қонуни индуксияи электромагнитӣ на барои қувваи чараён, балки маҳз барои қувваи муҳаррикаш электрикӣ (ҚумЭ) таъриф дода мешавад?
3. Қонуни индуксияи электромагнитӣ чӣ таъриф дода шудааст?
4. Дар ифодаи қонуни индуксияи электромагнитӣ аломати «минус» навиштан чӣ зарурат дорад?



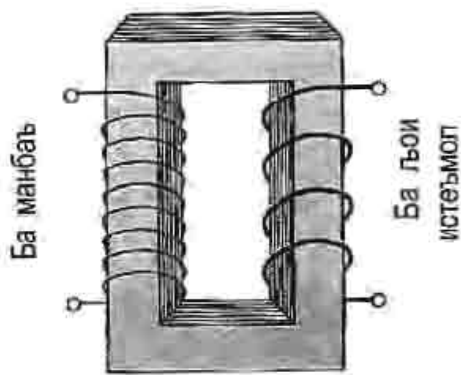
## § 5. Майдони электрикӣи тӯфонӣ

*Кувваи муҳаррикаш электрикӣ (ҚуМЭ)-и индуксия ё дар ноқили беҳаракате ба вуҷуд меояд, ки он дар майдони магнитӣ бо мурури замон тағйирёбанда воқеъ аст ё дар ноқиле ҳосил мешавад, ки он дар майдони магнитӣ дарҳаракат аст (ва ҳатмӣ нест, ки ин майдон бо мурури замон тағйир назирад). ҚуМЭ дар ин мавридҳо сабаби гуногуни пайдоиш дорад, аммо бузургии он дар ҳарду маврид аз рӯйи ҳамамон як ифода – аз рӯйи қонуни (1.4) ёфта мешавад. Биёед, аввал мавриди якумо бинем.*

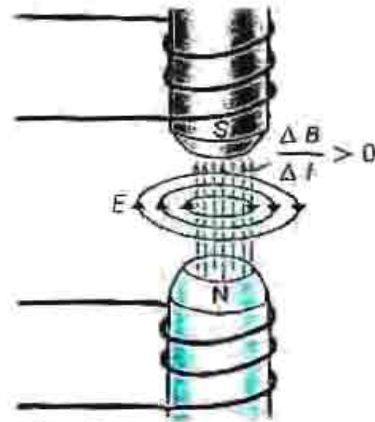
Бигзор трансформаторе дошта бошем, ки сохташ дар рас. 8 тасвир ёфтааст. Яке аз печакҳои онро ба занҷири ҷараёни тағйирёбанда пайваста, дар печакҳои дуюм ҷараён ҳосил мекунем, ба шарте, албатта, ки ин печак ҳам сарбаст бошад, зеро танҳо дар ҳамаин сурат дар ноқилҳои печакҳои дуюм электронҳо ба ҳаракат меоянд.

Электронҳо чӣ гуна қувваҳо ба ҳаракат мебароранд? Ин корро худ майдони магнитӣ (ки галтак дар он воқеъ аст) карда наметавонад, зеро ин гуна майдон танҳо ба зарраҳои барқаманд (зарраҳои заряднок)-и дарҳаракат таъсир дорад (ва аз майдони электрикӣ маҳз бо ҳамаин хусусияти худ фарқ мекунанд), вале дар мисоли мо ҳам ноқилу ҳам зарраҳои барқаманди таркиби он беҳаракатанд.

Ғайр аз майдони магнитӣ ба зарраҳои барқаманд (ҳок ҳаракатманд бошанду ҳок не) боз майдони электрикӣ таъсир меоварад. Аммо майдонҳоеро, ки то ҳол дар бораи онҳо сухан рафт (майдони электростатикӣ ё майдони собит), зарраҳои барқаманд, яъне барқаҳо ба вуҷуд меоваранду ҷараёни индуксионӣ бошад, дар асари майдони магнитӣ тағйирёбанда пайдо мешавад. Ин нукта фикреро пеш меорад, ки электронҳо дар ноқили  $l$  ҳаракат майдони электрикӣ ба ҳаракат мебарорад ва худ ин майдонро майдони магнитӣ тағйирёбанда ба вуҷуд меоварад. Пас, барои мо аз ин ҷо хусусияти нави бунёдӣ (хусусияти фундаменталӣ)-и майдони магнитӣ сар мезанад. Майдони магнитӣ, агар бо мурури замон тағйир назирад, боиси пайдоиши майдони электрикӣ мегардад. Ба ин ҳулоса пеш аз ҳама Ч. Масквелл расидааст.



Рас.8



Рас.9

Аз ин нуктаи назар падидаи индуксияи электромагнитӣ ба таври нав ҷилвагар мешавад. Муҳимтарин ҷиҳати он тавлиди майдони электрикӣ ба василаи майдони магнитӣ мебошад. Дар ин маврид буди ноқилконтур (масалан, ғалтак) моҳияти масъаларо тағйир намедихад. Ноқили дорои захираи электронҳои озод (ё зарраҳои дигар) ба мо танҳо ин имконро медиҳад, ки майдони электрикӣ дар ин сурат пайдошаванда бо осонӣ ошкор карда шавад. Ин гуна майдон электронҳои ноқилро ба ҳаракат меоварад – дар натиҷа мавҷудияти худ майдон ошкор мегардад. Моҳияти падидаи индуксияи электромагнитӣ дар ноқили беҳаракат на чандон зуҳури ҷараёни индуксионӣ мебошад, балки пайдоиши майдони электрикӣест, ки барқаҳо (зарраҳои барқаманд)-ро ба ҳаракат мебарорад.

Сохтор (сохт)-и майдони электрикӣ, ки хангоми тағйир ёфтани майдони магнитӣ пайдо мешавад, аз сохтори майдони электростатикӣ фарқи кулӣ дорад. Ин майдон бо барқаҳо бевосита алоқамандӣ надорад ва хатҳои шиддати он аз барқаҳо ибтидо гирифта ё дар онҳо интиҳо ёфта наметавонанд. Онҳо умуман аз ягон ҷо ибтидо намегиранд ва дар ягон ҷо интиҳо намеёбанд, балки хатҳои сарбасте мебошанд, ки ба хатҳои индуксияи майдони магнитӣ монандӣ доранд. Ин майдони электрикӣ тӯфонӣ ном майдон аст (рас. 9).

Ҳар қадре ки индуксияи магнитӣ зудтар тағйир пазираад, шиддати майдони электрикӣ ҳамон қадр бештар меояд. Аз рӯйи

қоидаи Ленс дар сурати  $(\Delta B/\Delta t) > 0$  будан (яъне афзудани индуксияи магнитӣ) самти вектори шиддати майдони электрикӣ  $E$  бо самти вектори  $B$  винти чаптоб ташкил медиҳад. Ин он гуна маънӣ дорад, ки ҳангоми бо самти хатҳои шиддати майдони электрикӣ гардидани винти чаптоб кӯчиши винт сӯйи пеш бо самти вектори индуксияи магнитӣ як хоҳад буд (ниг. рас.9). Дар сурати суст, яъне  $(\Delta B/\Delta t) < 0$  шудани индуксияи магнитӣ, баръакс, самти вектори шиддати  $E$  бо самти вектори  $B$  винти росттоб ташкил медиҳад.

Хатҳои қуввагии шиддати  $E$  ва ҷараёни индуксионӣ ҳамсамт мебошанд. Қувваи аз тарафи майдони электрикии тӯфонӣ ба барқа (заряд)-и  $q$  таъсиркунанда (ки қувваи ғайр аст) мисли пештара  $F=qE$  аст. Вале бар хилофи майдони электрикии собит (статсионарӣ) кори майдони тӯфонӣ барои роҳи сарбаст сифрӣ нест. Инро фаҳмидан душвор нест, зеро ҳангоми ба қадди хатти сарбастии шиддати майдони электрикӣ кӯчидани барқа (ниг. рас.9) кор барои ҳама қитъаҳои роҳ ҳамон як аломат дорад. Ин ҳам фаҳмо нест, зеро қувва ва кӯчиш ҳамсамтанд. *Кори майдони электрикии тӯфонӣ ҳангоми ба қадди ноқили сарбастии беҳаракат кӯчондани барқаи воҳидии мусбат ададан баробари  $qUM$ -и индуксионӣ дар ҳамин ноқил аст.*

**Ҷараёнҳои индуксионӣ дар ноқилҳои пурмасса (калон).** Ҷараёнҳои индуксионӣ хусусан дар ноқилҳои пурмасса бузургии зиёд доранд, зеро муқовимати ин гуна ноқилҳо кам аст. Ин ҷараёнҳоро, ки *ҷараёнҳои Фуко* ном гирифтаанд (ба исми муҳаққиқи онҳо олими фаронсавӣ Ч. Фуко), барои тафсондани ноқилҳои истифода кардан мумкин аст. Сохти кӯраҳои индуксионӣ (печҳои илқоӣ) бар истифодаи ҳамин ҷараёнҳо асос ёфтааст. Кӯраҳои индуксионӣ хусусан барои дар шароити вакуум ғудохгани филизот (металлҳо) истифодабобанд.

Аммо дар бисёр дастгоҳҳо пайдоиши ҷараёнҳои Фуко боиси талафи беҳудаи энергия мегардад. Аз ин рӯ мағзаҳо (дилакҳо)-и трансформаторҳо, муҳаррикҳои электрикӣ, генераторҳо ва монанди инҳоро на яклухт, балки иборат аз варақаҳои алоҳидаи ойиқшуда (изолатсияшуда) месозанд. Варақаҳо (ё сафҳачаҳо) бояд тавре ҷой дода шаванд, ки сатҳи онҳо амудан басамти вектори шиддати майдони электрикии тӯфонӣ воқеъ

шавад. Танҳо дар ҳамин сурат муковимати варақаҳо ба чараёни электрикӣ зиёди зиёд хоҳад буд.

*Татбиқи ферритҳо* (аз лот. ferrum – оҳан). Дастгоҳҳои радио-электронӣ дар соҳаи басомадҳои бағоят баланд (миллионҳо ларзии дар як сония) амал мекунанд. Истифодаи мағзаҳои варақ-варақ дар ин гуна асбобҳо самарбахш намеояд, зеро чараёнҳои дар сатҳи ҳар варақа пайдошавандаи Фуко қимати зиёд дошта метавонанд.

Ба ёд меорем, ки дар китоби «Физика, 10» (§ 66) дар бораи *ферритҳо* ном моддаҳои ойиқ (изолятор) маълумоти мухтасаре омада буд. Ҳангоми чаппа магнитнок кардани<sup>1</sup> ана ҳамин гуна моддаҳо чараёнҳои Фуко ба вучуд намеоянд. Пас, дар ферритҳо энергияи электрикӣ талаф намешавад. Ҳамин аст, ки мағзаҳои трансформаторҳои баландбасомад, мавҷрабӯҳо (антенҳо)-и магнитии транзисторҳо ва амсоли инҳоро маҳз ферритӣ месозанд. Барои сохтани мағзаҳои ферритӣ омехтаи хоқаҳои заруриро аввал фишурда, баъд гирифтори амалиёти ҳароратӣ мекунанд.

Ғайр аз ин, ҳангоми якбора (зуд) тағйир додани майдони магнитӣ дар ферромагнетикӣ, муқаррарӣ чараёнҳои индуксионие ба вучуд меоянд, ки майдонҳои магнитии онҳо бо талаби қоидаи Ленс монеъи тағйироти сели магнитӣ дар мағзай ғалтак мегардад. Ба ҳамин сабаб сели индуксияи магнитӣ амалан тағйир намепазирад ва мағза чаппа магнитнок намешавад. Дар ферритҳо чараёнҳои Фуко хеле сустанд. Ҳамин аст, ки ферритҳоро бо осонӣ (зуд) чаппа магнитнок кардан мумкин аст.

\* \* \* \* \*

*Дар баробари майдони электрикии кулони потенциалӣ майдони электрикии тӯфонӣ низ вучуд дорад. Хатҳои шиддати ин майдон сарбастанд. Майдони тӯфонӣ зодаи майдони магнитии тағйирёбанда аст.*

<sup>1</sup>Чаппа гардондани самти магнетиш (магнитнокшавӣ)-и моддаҳои ферромагнитӣ ва ферримагнитӣ бо таъсири майдони магнитии беруӣ (С. Қ.).



1. Табиъати қувваи ғайре, ки дар ноқили беҳаракат ҷараёни индуксионӣ (ҷараёни илқоӣ) ба вуҷуд меоварад, чӣ гуна аст?
2. Майдони электрикии тӯфонӣ аз майдони электростатикӣ ё майдони собит (статсионарӣ) чӣ тафовут дорад?
3. Ҷараёнҳои Фуко чӣ гуна ҷараёнанд?
4. Ферритҳо дар муқобили моддаҳои ферромагнитии муқаррарӣ чӣ бартарӣ доранд?

## §6. Қувваи муҳаррикакии электрикӣ (ҚуМЭ)-и индуксия дар ноқили ҳаракатманд

Агар ноқил дар майдони магнитии замонан (нисбат ба вақт) дойимӣ дарҳаракат бошад, он гоҳ сабабгори пайдоиши ҚуМЭ-и индуксия дар ноқил на майдони электрикии тӯфонӣ (ки дар ин маврид ба вуҷуд омада наметавонад), балки чизи тамоман дигар аст.

Ҳангоми дар майдони магнитӣ ҳаракат кардани ноқил барқаҳои озоди он ҳамроҳаш ҳаракат мекунанд ва ба он барқаҳо аз тарафи майдони магнитӣ қувваи лоренсӣ таъсир меоварад. Маҳз ҳамин қувва аст, ки барқаҳои даруни ноқилро ҳаракат медиҳад. Пас, ҚуМЭ-и индуксионӣ табиъати магнитӣ доштааст.

Биёед ҚуМЭ-и индуксияро дар ноқиле баҳодод кунем, ки он дар майдони магнитии якҷинса дарҳаракат аст (рас. 10). Бигзор, тарафи MN-и дарозиаши  $l$ -и контур бо суръати дойимии  $v$  ба қадди тарафҳои NC ва MD билағзад ва дар ин маврид ба тарафи DC ҳамеша мувозӣ (параллел) бимонад. Вектори индуксияи магнитӣ  $B$ -и майдони якҷинса нисбат ба ноқил равиши амудӣ дорад ва бо самти суръат кунҷи  $\alpha$  ташкил медиҳад.

Қуввае, ки майдони магнитӣ бо он ба зарраи барқаманди дарҳаракат таъсир меоварад (ниг. §65-и «Физика, 10»), модулан баробари

$$F_L = |q|vB\sin\alpha \quad (1.5)$$

мебошад ва ба қадди ноқили MN равона аст. Қори қувваи

Лоренс дар тӯли роҳи  $l$  мусбат аст ва чунин ёфта мешавад<sup>1</sup>:

$$A = F_L l = |q| v B \sin \alpha.$$

Қувваи муҳаррикаи электрикии индуксия дар ноқили  $MN$  мувофиқи таъриф ба нисбати кори кӯчониши барқии  $q$  бар бузургии ин барқа баробар мебошад:

$$\varepsilon_i = \frac{A}{|q|} = v B l \sin \alpha. \quad (1.6)$$

Ин ифода барои ҳар гуна ноқили  $l$ -дарозие дуруст аст, ки он дар майдони магнитии якҷинса бо суръати  $v$  дар ҳаракат аст. Дар ноқилҳои дигари контур  $QMЭ$  сифрӣ аст, зеро он ноқилҳо беҳаракатанд. Пас,  $QMЭ$  дар саросари контури  $MNCD$  баробари  $\varepsilon_i$  аст ва дойимӣ мемонад, ба шарте ки суръати ҳаракат  $v$  собит бошад. Дар ин маврид ҷараёни электрикӣ меафзояд, зеро ҳангоми сӯйи рост кӯчидани ноқили  $MN$  муқовимати умумии контур кам мешавад.

Аз тарафи дигар,  $QMЭ$ -и индуксияро ба воситаи қонуни индуксияи электромагнитии (1.4) баҳо дод кардан мумкин аст. Дарвоқеъ, сели магнитии ба контури  $MNCD$  зананда баробари

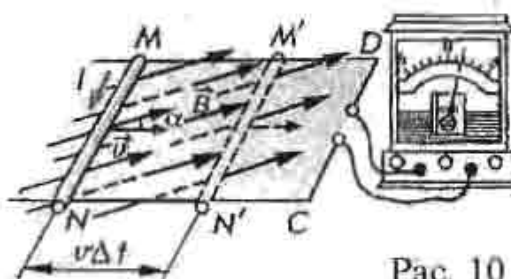
$$\Phi = B S \cos(90^\circ - \alpha) = B S \sin \alpha$$

мебошад, ки ин ҷо кунҷи  $90^\circ - \alpha$  кунҷи байни вектори  $B$  нормали  $\mathbf{n}$  ба сатҳи контур аст (рас.11)  $S$  – масоҳати контури  $MNCD$ . Агар гӯем, ки дар лаҳзаи аввали вақт ( $t=0$ ) ноқили  $MN$  аз ноқили  $CD$  дар масофаи  $NC$  меҳабд (ниг. рас.10), пас, дар кӯчиши ноқил масоҳати  $S$  бо мурури замон чунин тағйир меёбад:

$$S = l(NC - vt).$$

Дар муддати  $\Delta t$  масоҳати контур ба қадри  $\Delta S = -l v \Delta t$  тағйир

<sup>1</sup>Ин кори попураи қувваи Лоренс аст. Дар баробари қувваи лоренсии (1.5) ҷузъе аз ҳамон қувваи лоренсӣ низ вучуд дорад, ки муқобили суръати ҳаракати ноқил  $v$  равона аст. Ин ҷузъ монанди ҳаракати ноқил мегардад ва кори манфӣ иҷро мекунад – дар натиҷа кори попураи қувваи лоренсӣ сифрӣ мешавад.



Рас. 10

меёбад. Аломати минус онро ифода мекунад, ки ин масоҳат бо мурури замон кам мешавад. Дар ҳамин муддат сели магнитӣ ба қадри  $\Delta\Phi = -Blv\Delta t \sin\alpha$  тағйир меёбад. Пас,  $\varepsilon_i$  бояд чунин ифода карда шавад:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = Blv \sin\alpha.$$

Агар контури MNSD дар майдони магнитии якҷинса дарҳаракат бошад ва рафти худ (ориентатсияи худ)-ро нисбат ба вектори  $\vec{B}$  нигоҳ дорад, ҚумЭ-и индуксия дар контур сифрӣ мешавад, зеро сели магнитии ба масоҳати фарогирифтаи контур зананда тағйир намеёбад.

Шарҳ ин аст. Ҳангоми ҳаракат кардани контур дар ноқилҳои MN ва CD қувваҳои (ниг. ифодаи (1.5)) ба вуҷуд меоянд, ки ба электронҳо дар самтҳои аз N ба M ва аз C ба D таъсир меоваранд. Қори умумии ин қувваҳо дар сурати ба рафти гашти соҳат ё муқобили он гардидани контур сифрӣ аст.

\*\*\*\*\*

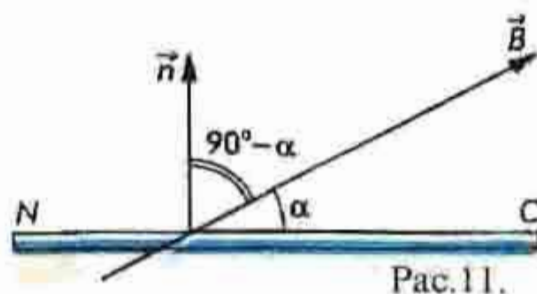
ҚумЭ-и индуксионӣ дар ноқилҳои, ки дар майдони магнитии дойимӣ дарҳаракат ҳастанд, аз ҳисоби ба электронҳои озоди ноқил таъсир овардани қувваи лоренсӣ пайдо мешавад.



1. Қувваи лоренсӣ ба чӣ баробар аст ва он чӣ гуна самт дорад?
2. ҚумЭ-и индуксияе, ки дар ноқилҳои дар майдони магнитии тағйирёбанда ҳаракаткунанда ба вуҷуд меояд, ба чӣ бастигӣ дорад?

## §7. Микрофони электродинамикӣ

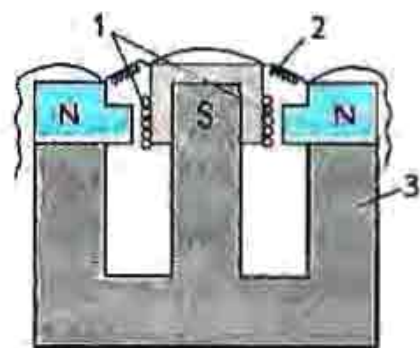
Дар китоби «Физика, 10» шумо бо баландгӯяки электродинамикӣ шинос шудед, ки лапшиҳои ҷараёни электрикӣ ба ларзишҳои савтӣ табдил меёванд. Табдилоти баръакс, яъне табдили ларзишҳои савтии ҳаво ба лапшиҳои ҷараёни электрикӣ дар микрофон амалӣ шудааст.



Рас.11.

Микрофон (аз калимаҳои юнонии *micro* – хурд ва *phone* – садо) дар радиошунавонӣ, телевизион, дар олатҳои тақвияти садо, робитаҳои телефонӣ ва ғ. истифодаи бисёр дорад.

Кори яке аз маъмултарин микрофонҳо – микрофони электродинамикӣ бар падидаи индуксияи электромагнитӣ (яъне илқои электромагнитӣ) асос ёфтааст. Ин аст сохти микрофони номбурда: пардаи полистиролии тунуки 2 ё варақаи алюминӣ бо ғалтаки савтӣ 1 (аз сими борик) саҳт маҳкам карда шудааст (рас.12); ин ғалтак дар фосилаи ҳалқашакли магнети дойимии пурзӯри 3 ҷой дода мешавад; ҳатҳои индуксияи магнитӣ (илқои магнитӣ) ғмудан ба ҳамвории печакҳои ғалтак равонаанд.



Рас.12.

Мавҷи садо пардаи полистиролӣ ва ғалтаки бо он алоқамандро ба ларзиш мебарорад. Печҳои ғалтақ дар майдони магнитӣ ҳаракат мекунанд ва дар онҳо қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚуМЭ)-и индуксия ба вуҷуд меояд. Дағ натиҷа дар нӯғҳои ғалтак волтажи тағйирёбандае ҳосил мешавад, ки ҷараёни электрикиро дар занҷири микрофон ларзиш медеҳад. Ин ларзишҳоро тақвият дода, ба занҷири баландгӯяқ равона кардан ё онҳоро дар тасмаи магнитофон сабт гардондағ мумкин аст.

Микрофони электродинамикӣ соҳти сода дорад, камҳаҷм ва бобақо аст. Ин навъ микрофонҳо ларзишҳои фосилаи басомадии 50-10 000 Ҳз (*ҳерц*)-ро чандон таҳриф намекунанд. Микрофонҳои навъи дигар аз истифода мешаванд.

\*\*\*\*\*

Дар баландгӯяқ қувваи Ампер ғалтак ва ларзпардаи бо он алоқамандро ларзиш медеҳад. Дар микрофон ларзиши ларзпарда ба ғалтаки чунбешпазир дода мешавад ва дар он ҷараёни индуксионӣ (ҷараёни илқоӣ) ба вуҷуд меояд.



*Оё ба сифати ҷузъи ҳассоси микрофон яке аз рӯяҳои конденсатореро, ки бо таъсири мавҷи садо ларзиш хӯрда метавонад, истифода кардан мумкин аст?*



## §8. Худ-индуксия (худ-илқо)

Агар дар занҷири галтак ҷараёни тағйирёбанда ҷорӣ бошад, сели магнитии аз тариқи галтак гузаранда тағйир меёбад. Бино бар ин дар худӣ ҳамон ноқиле, ки аз он ҷараёни тағйирёбанда ҷорист, қувваи муҳаррикаки электрикӣ (ҚуМЭ)-и индуксия пайдо мешавад. Ин падида ро худ-индуксия гуфтаанд (аз рӯи «self-induction»-и англисӣ ва «самоиндукция»-и русӣ).

**Худ-индуксия (илқои худбахудӣ, худ-илқо).** Ҳангоми рӯй додани падидаи худ-индуксия ноқилконтур ду вазифа дорад: ҳам аз тариқи он ҷараёни воқеигардонандаи индуксия ҷорӣ мешавад ва ҳам дар он ҚуМЭ-и индуксионӣ  $\epsilon_1$  ба вуҷуд меояд. Аз рӯйи қоидаи Ленс дар лаҳзаи афзоиши ҷараён шиддати майдони электрикии тӯфонӣ муқобили ҷараён самт дорад. Пас, дар ин лаҳза майдони электрикии тӯфонӣ монеъи афзоиши ҷараён мегардад. Ва баръакс, ҳангоми кам шудани ҷараён майдони тӯфонӣ онро «дастгирӣ» мекунад.

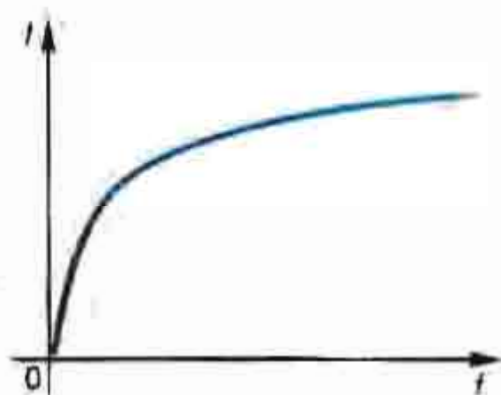
Ин боис мегардад, ки ҳангоми пайвастании занҷири дорои манбаъи ҚуМЭ-и дойимӣ қимати муъайяни қувваи ҷараён на якбора, балки (бо мурури вақт) тадриҷан муқаррар шавад (рас. 13). Аз тарафи дигар, ҳангоми кандани занҷир ҷараён дар контурҳои сарбаст якбора (онан) катъ намегардад. ҚуМЭ-и дар ин маврид пайдошавандаи худ-индуксия назар ба ҚуМЭ-и манбаъ зиёдтар буда метавонад, зеро ҳангоми кандани манбаъ тағйироти ҷараён ва майдони магнитӣ бисёр зуд рӯй медиҳад.

Падидаи худ-индуксияро дар таҷрибаҳои содае мушоҳида кардан мумкин аст. Дар рас. 14 тарҳи пайвасти мувозӣ (пайвасти параллелӣ)-и ду лампаи якхела оварда шудааст. Якеи онҳо ба манбаъ ба воситаи муқовимати  $R$  ва лампаи дуюм паёпай бо галтаки  $L$  (ки мағзай оҳанин дорад) пайвастанд.

Баъди васл кардани калид лампаи аввал қариб дафъатан дармегираду лампаи дуюм – каме дертар. Сабаб ин аст, ки дар занҷири ин лампа ҚуМЭ-и худ-индуксия қимати зиёд дорад ва аз ин рӯ қувваи ҷараён то қимати зиёдтарини худ на якбора мерасад.

Падидаи ҳангоми кандани занҷир пайдо шудани ҚуМЭ-и

худ-индуксияро дар таҷрибаи дар рас.15 тасвиршуда мушоҳида кардан осон аст. Баъди кушодани калид дар ғалтаки  $L$  ҚуМЭ-и худ-индуксияе ба вучуд меояд, ки ба ҷараёни ибтидоӣ зам шуда, онро зиёд мекунад. Бино бар ин дар лаҳзаи кандани калид аз галванометр ҷараёне ҷорӣ



Рас.13.

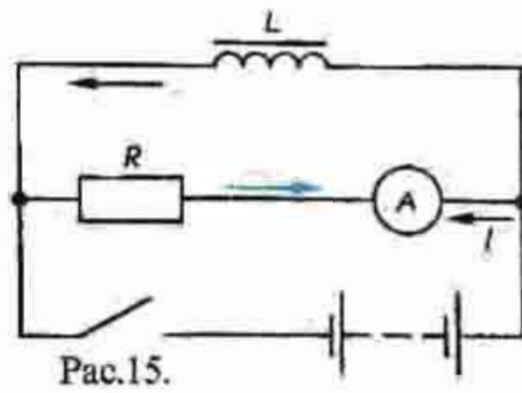
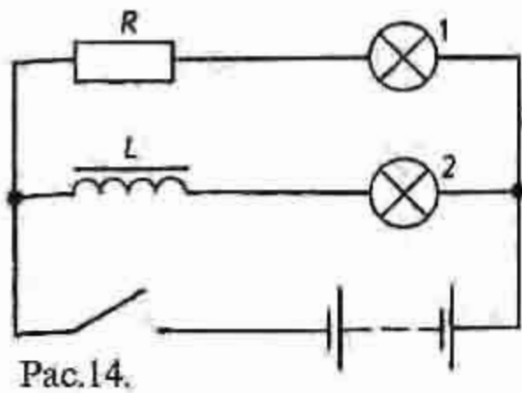
мегардад (аз  $R$  ба  $A$ ), ки муқобили ҷараёни занҷир (аз  $L$  ба  $R$ ) равона аст. Қувваи ҷараёни ҳангоми кандани калид пайдошаванда назар ба қувваи ҷараёне, ки аз галванометр гоҳи баста будани калид ҷорӣ мешавад, зиёд буда метавонад. Ин он гуна маънӣ дорад, ки ҚуМЭ-и худ-индуксия  $\epsilon$ , назар ба ҚуМЭ-и силсилаи батареҳо  $\epsilon$  зиёд буда метавонад.

**Шабоҳати байни худ-индуксия ва инерсия (яъне худ-илқо ва шастии ҳаракат)**<sup>1</sup>. Падидаи худ-индуксия ба падидаи механикии инерсия монандӣ дорад. Буди инерсия, яъне шаст доштани ҳаракат<sup>2</sup> дар он зоҳир мегардад, ки ҷисми «ҷабр»бинанда бо таъсири ин ё он қувва ба ин ё он қимати суръат на якбора, на онан, балки оҳиста-оҳиста соҳиб мешавад, яъне ҷисми дарҳаракатро бо вучуди истифода кардани ҳар гуна қувваи зиёд якбора нигоҳ доштан илоч надорад (барои ин муддати муъайяни вақт зарур аст). Монанди ҳамин, гоҳи пайвастании занҷир қувваи ҷараён ба ин ё он қимати худ на якбора, балки баъди ин ё он муддат мерасад, яъне баробари аз занҷир ҷудо кардани манбаъи ҷараён асари он ба якборагӣ нест намешавад, зеро ба сабаби мавҷудияти падидаи худ-индуксия ҷараён дар занҷир баъди кандани манбаъ низ ин ё он муддат боқӣ мемонад (бо вучуде ки занҷир муқовимат, яъне сабаби монъешаванда дорад).

Дигар ин, ки барои зиёд кардани суръати ҳаракати ҷисм ба

<sup>1</sup>Ин ҷо ба сифати муъодилии тоҷикии истилоҳи «инерсия» калимаи «истимрор»-ро низ, ки дар эҷодҳои бузургҳои адабиётмон дучор меояд ва маънии бо як равиш рафтан, давом ёфтан, идома ёфтан дорад, гирифтани мумкин аст. Вале мо ба ҳамин маънӣ калимаи «шаст»-ро назар менишаванд, зеро ки бо мафҳуми «қувва» иртиботи рӯшантар дорад (С. Қ.).

<sup>2</sup>Иловаи мо (С.Қ.).



талаби қонунҳои механика қор иҷро қардан мебояд. Лекин ҳангоми тормоз хӯрдан худӣ қисм қор иҷро мекунад. Мисли ҳамин, барои дар занҷир ба вучуд овардани қараён муқобили майдони электрии тӯфонӣ қор иҷро қардан зарур меояду гоҳи қатъ гардидани қараён ин майдон қори муқбат иҷро мекунад.

**Индуктивият (худ-илқоӣ)**<sup>1</sup>. Модули  $B$ -и вектори индуксияи майдони магнитӣ офаридаи қараён ба қувваи қараён мутаносиб мебошад. Азбаски сели магнитӣ  $\Phi$  ба  $B$  мутаносиб аст, пас, ин тавр навиштан масъаларо рӯшантар месозад:  $\Phi \sim B \sim I$ . Бар ҳамин асос метавон гуфт, ки

$$\Phi = LI \quad (1.7)$$

аст. Ин ҷо  $L$  зариф (коэффисент)-и мутаносибии байни қараёни контурӣ ва сели магнитӣ аст, ки аз тариқи контур мегузарад. Бузургии  $L$  индуктивияти контур ё худ зарифи худ-индуксияи контур ном дорад.

Дар асоси қонуни индуксияи электромагнитӣ ва ифодаи (1.7) ин гуна таносуб ҳосил қардан мумкин аст:

$$\epsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (1.8)$$

ба шарте ки шакли контур бетағйир монад ва сели магнитӣ танҳо аз ҳисоби тағйироти қувваи қараён тағйир пазираад, яъне индуктивият ададан баробар будааст ба  $K_{\text{умЭ}}$ -и худ-индуксияе,

<sup>1</sup>Индуктивность; self-inductance. Бояд гуфт, ки мафҳумҳои «индуксия», «индуктивият» ва «худ-индуксия» («илқо», «худ-илқо», «худ-илқоӣ») ба ҳамдигар то он ҷо наздикӣ доранд, ки дар баъзе мавридҳо яқин онҳоро дар мақоми дигаре ба қор бурдан мумкин аст ва маҳз ҳамин аст, ки таълими мавзӯҳои алоқаманд бо падидаи илқо душвориҳо пеш меорад (С.Қ.).

ки он дар натиҷаи дар контур дар муддати  $Ic$  ба қадри  $IA$  тағйир ёфтани қувваи ҷараён ба вучуд меояд.

Индуктивият (яъне худ-илқоӣ) мисли электргунҷойиш ба шаклу андозаҳои ноқил вобаста аст, вале ба қувваи ҷараёни дар ноқил шоранда бастагии бевосита надорад. Индуктивият гайр аз омилҳои геометрӣ ба хосиятҳои магнитии муҳите низ бастагӣ дорад, ки ноқил дар он воқеъ гаштааст.

Воҳиди индуктивият дар Манзумаи байналмиллалии воҳидҳо (SI) ҳенрӣ ном гирифтааст (ба исми олими амрикоӣ Ч.Хенрӣ) ва бо  $H_n$  ишорат мешавад. Ноқиле индуктивияти  $1H_n$  дорад, ки дар он дар сурати дар муддати  $Ic$  ба қадри  $IA$  тағйир ёфтани қувваи ҷараён ҚумЭ-и худ-индуксияи  $1V$  ба вучуд ояд:

$$1H_n = \frac{1V}{1\frac{A}{c}} = 1\frac{V \cdot c}{A}$$

Падидаи худ-индуксия дар электротехника ва радиотехника бисёр муҳим аст, зеро ба рафти ҷараёни электрикии тағйирёбанда асари намоён дорад. (Аз ин хусус муфассалтар дар боби 2 суҳан хоҳад рафт).

\*\*\*\*\*

Дар сурати тағйир ёфтани қувваи ҷараёни аз тариқи ноқил шоранда дар он ноқил майдони электрикии тӯфонӣ ба вучуд меояд. Ин майдон ҳангоми афзудани қувваи ҷараён монанди ҳаракати электронҳо мегардад, вале ҳангоми кам шудани қувваи ҷараён электронҳоро мешитобонад.



1. Падидаи худ-индуксия (худ-илқоӣ) чӣ маънӣ дорад?
2. Хатҳои шиддати майдони электрикии тӯфонӣ нисбат ба равиши ҷараёни дар ноқил ҷоришаванда ҳангоми каму зиёд шудани қувваи ҷараён чӣ гуна самт мегиранд?
3. Мафҳуми индуктивияти ноқил чӣ маънӣ дорад?
4. Ба сифати воҳиди индуктивият чӣ бузургӣ пазирофта шудааст?
5. Қувваи муҳаррикаи электрикии худ-индуксия ба чӣ баробар аст?

## §9. Энергияи майдони магнитии чараён

Биёед энергияи чараёни электрикии аз тариқи ноқил шорандаро муъайян кунем. Мувофиқи қонуни бақои энергия энергияи майдони магнитии офаридаи чараёни электрикӣ ба энергияе баробар аст, ки онро манбаъи чараён (батареи галванийӣ, генератори маркази барқ ва ғ.) барои офариниши чараён сарф мекунад. Ҳангоми қатъ гардондани чараён ин энергия дар ин ё он шакл хориҷ мешавад.

Биёед аввал бифаҳмем, ки барои офариниши чараён энергия сарф кардан, яъне кор иҷро кардан чӣ зарурат дорад? Шарҳ ин аст: ҳангоми пайвастании занҷир, вақте ки чараён меафзояд, дар ноқил майдони электрикии тӯфоние пайдо мешавад, ки зидди майдони электрикии дар ноқил офаридаи манбаъи чараён амал мекунад. Барои ба вучуд овардани чараёни қуввааш  $I$  манбаъи чараён бояд муқобили қувваҳои майдони тӯфонӣ кор иҷро кунад. Ин энергия барои зиёд кардани энергияи майдони магнитии чараён сарф мешавад.

Ҳангоми кандани занҷир чараён нест мешавад ва майдони тӯфонӣ кори мусбат иҷро мекунад. Энергияи захирашудаи чараён хориҷ мегардад. Ин аз он ҷо аён аст, ки ҳангоми кандани занҷири дорои индуктивияти зиёд шарораи пуртавоне пайдо мешавад.

Ифодаи энергияи чараёне ( $L$ -ро, ки дар занҷири дорои индуктивияти  $L$  ҷорист (яъне энергияи майдони магнитии чараёнро), аз қиёси байни индуктивият ва инерсияи ҷисм (яъне шасти ҳаракати ҷисм), ки мо дар бораи он дар § 8 сухан рондем, навиштан мумкин аст.

Агар падидаи худ-индуксия ба хосияти инерсиядории ҷисм монанд бошад, пас, индуктивият дар рафти тавлиди чараён бояд ҳамон гуна мақомдошта бошад, ки масса (яъне ҷирм) дар мавриди афзудани суръати ҷисм дар механика дорад. Роли суръати ҷисмро дар электродинамика қувваи чараён  $I$  (чун бузургии ифодакунандаи ҳаракати барқаҳо (зарядҳои электрикӣ) мебозад.

Агар чунин бошад, пас, энергияи чараён  $W$ -ро ба энергияи кинетикии ҷисм (дар механика)  $m v^2/2$  монанд кардан ва ин хел навиштан мумкин аст:

$$W = \frac{1}{2} LI^2 \quad (1.9)$$

Дар натиҷаи ҳисобукитоби назарӣ низ барои энергияи ҷараён маҳз ҳамин ифода ҳосил шудааст.

Ҳамин тариқ, дар формулаи (1.9) энергияи ҷараён ба воситаи характеристика (мушаххаса)-и геометрии нокил  $L$  ва қувваи ҷараёни дар он шоранда  $I$  ифода шудааст. Аммо ҳуди ҳамин энергияро ба воситаи мушаххасаи майдон низ ифода кардан мумкин аст. Ҳисобукитоб нишон медиҳад, ки зичии энергияи майдони магнитӣ (яъне энергияи воҳиди ҳаҷм) ба квадрати индуксияи магнитӣ мутаносиб мебошад, мисли он ки зичии энергияи майдони электрикӣ ба квадрати шиддати майдони электрикӣ мутаносиб аст.

\*\*\*\*\*

Майдони магнитии зодаи ҷараёни электрикӣ соҳиби энергияест, ки он ба квадратати қувваи ҷараён мутаносиб мебошад.



1. Барои ба вуҷуд овардани ҷараён манбаъ бояд энергия сарф кунад – ин чӣ асос дорад?
2. Энергияи ҷараёни электрикӣ ба чӣ баробар аст?

## §10. Майдони электромагнитӣ

Ҷ.Максвел дар роҳи таҳқиқи хосиятҳои майдони электромагнитӣ ин гуна пурсиш пеш гузошт: модом ки майдони магнитии тағйирёбанда майдони электрикӣ ба вуҷуд оварда тавонад, пас, магар падидаи акси ин воқеъӣ буда наметавонад? Ба гуфти дигар, магар майдони электрикии тағйирёбанда, дар навбати худ, майдони магнитӣ зода наметавонад? Ана ҳамин мулоҳиза, ки бар ягонагии табиъат, бар низоми «ботинӣ» ва ҳамоҳангии қонунҳои табиъат асос ёфтааст, бунёди фарзияи Максвелро ташкил медиҳад.

**Пайдоиши майдони магнитӣ ҳангоми тағйир хӯрдани майдони электрикӣ.** Максвел тахмин кард, ки падидаи номбурда бояд воқеъӣ бошад. Дар ҳама мавридҳои бо мурури замон тағйир ёфтани майдони электрикӣ майдони магнитӣ ба вуҷуд меояд. Хатҳои индуксияи магнитии ин майдон хатҳои шиддати

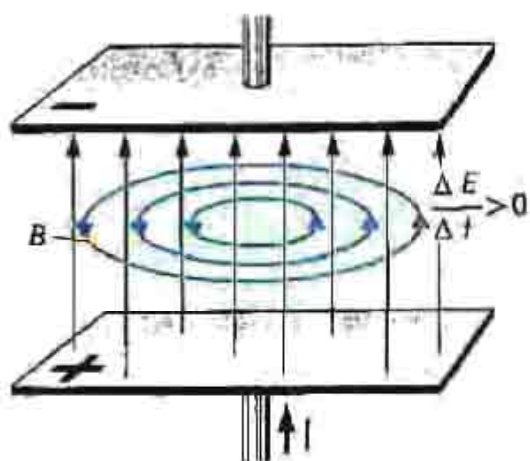
майдони электрикиро фаро мегиранд (рас.16), мисли он ки хатҳои шиддати майдони электрикӣ хатҳои индуксияи магнитии тағйирёбандаро фаро мегиранд. Аммо акнун гоҳи

афзудани шиддати майдони электрикӣ ( $\frac{\Delta E}{\Delta t} > 0$ ) самти вектори индуксияи майдони магнитии дар ин маврид пайдошаванда  $B$  бо самти вектори  $E$  *винти росттоб* ташкил медиҳад.

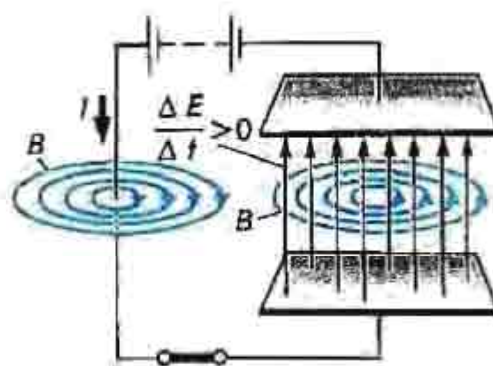
Ҳангоми костанани шиддати майдони электрикӣ ( $\frac{\Delta E}{\Delta t} < 0$ ) самти индуксияи магнитӣ  $B$  бо вектори  $E$  *винти чаптоб* ташкил медиҳад.

Мувофиқи фарзияи Максвелл майдони магнитиро, масалан, ҳангоми барқаманд (заряднок) кардани конденсатор баъди сарбаст кардани занҷир на танҳо ҷараёне, ки дар ноқил ҷорист, балки майдони электрикии фазои байни рӯяҳои конденсатор низ ба вуҷуд оварда метавонад (рас.17). Зимнан, майдони электрикии тағйирёбанда ҳамон гуна майдони магнитӣ ба вуҷуд меоварад, ки дар мавриди дар байни рӯяҳои конденсатор ҷорӣ будани ҷараёни электрикии монанди ҷараёни электрикии ноқилӣ пайдо мешавад.

Кашфи таҷрибавии мавҷҳои электромагнитӣ дурустии фарзияи Максвеллро тасдиқ кард. Буди мавҷҳои электромагнитӣ танҳо он гуна замина дошта метавонад, ки майдони магнитии тағйирёбанда майдони электрикии тағйирёбанда тавлид гардонаду майдони электрикии тағйирёбандаи пайдошуда, дар навбати худ, майдони магнитии тағйирёбанда ба вуҷуд биёрад



Рас.16.



Рас.17.

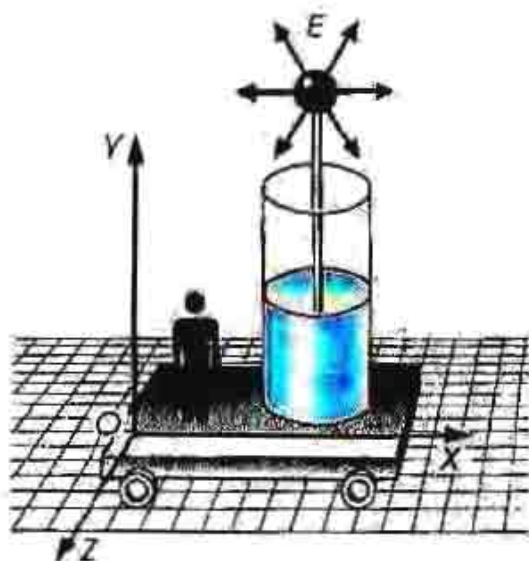
ва Ғ. Ҳақиқату воқеъият низ ҳамин аст.

**Майдони электромагнитӣ.** Баъди кашфи робитаи мутақобили майдонҳои тағйирёбандаи электрикӣ ва магнитӣ рӯшан гашт, ки ин майдонҳо чудо-чудо, бе якдигар, новобаста ба якдигар вучуд дошта наметавонанд.

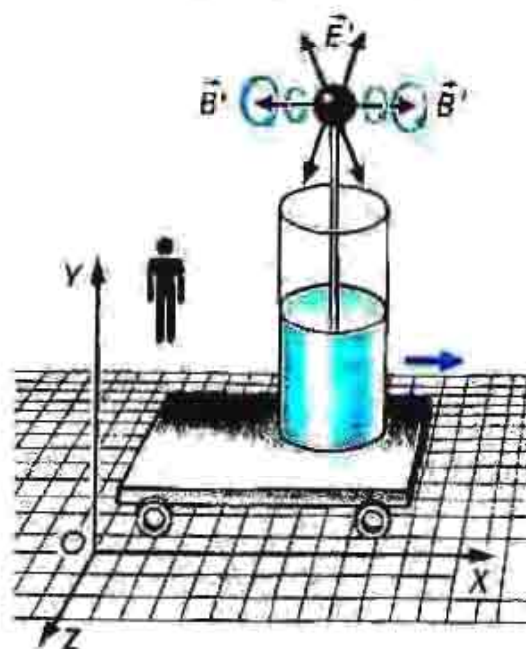
Майдони магнитии тағйирёбандаро бе он ки дар айни замон дар фазо майдони электрикии тағйирёбанда пайдо шавад, ба вучуд овардан имкон надорад. Ва баръакс, майдони электрикии тағйирёбанда бе ҳамин гуна майдони магнитӣ вучуд дошта наметавонад.

На камтар муҳим ин аст, ки майдони электрикӣ бе майдони магнитӣ ё майдони магнитӣ бе майдони электрикӣ танҳо нисбат ба системаи сарҳисоби муъайян вучуд дошта метавонанд. Чунончи, зарраи барқаманди қарор танҳо майдони электрикӣ ба вучуд оварда метавонад (рас.18). Вале мо бояд онро ба эътибор гирем, ки он зарра нисбат ба системаи муъайяни сарҳисоб қарор аст. Аммо нисбат ба системаҳои сарҳисоби дигар метавонад дарҳаракат бошад ва, аз ин рӯ, майдони магнитӣ ҳам ба вучуд биёрад (рас. 19).

Айнан ҳамин тавр, дар системаи сарҳисоби алокаманд бо магнит танҳо майдони магнитӣ зоҳир мегардад. Вале мушоҳиде, ки нисбат ба магнит дарҳаракат аст, майдони электрикиро низ ошқор карда метавонад. Гап дар он аст, ки дар системаи сарҳисоби нисбат ба магнит ҳаракаткунанда



Рас.18.



Рас.19.



майдони магнитӣ бо мурури замон ба қадри ба магнит наздик шудани мушоҳид (ё аз магнит дур шудани ӯ) тағйир меёбад. Ва майдони магнитии замонан тағйирёбанда майдони электрикии тӯфонӣ ҳосил мекунад.

Пас, он фикр, ки *дар ин ҷо он нуқтаи фазо танҳо майдони электрикӣ ҷ танҳо майдони магнитӣ вучуд дошта метавонад (агар нагӯем, ки он майдонҳо нисбат ба кадом системаҳо муойина мешаванд) фикри бемаънӣ мебуд.* Вучуд надоштани майдони электрикӣ дар системаи сарҳисоби дорои магнити қарор ҳаргиз он гуна маънӣ надорад, ки гӯё майдони электрикӣ вучуд надошта бошад. Мавҷудияти ин майдонро нисбат ба ҳар гуна системаи сарҳисобе, ки нисбат ба магнит дарҳаракат мебошад, ошкор сохтан мумкин аст.

Майдонҳои электрикӣ ва магнитӣ ҳарду якҷоя зухуроти як майдони том – зухуроти *майдони электромагнитӣ* ҳастанд. Майдони электромагнитӣ шакли махсуси ҳайуло (материя) аст, майдоне аст, ки таъсири мутақобили зарраҳои барқамандро воқеъӣ мегардонад. Ин майдон воқеъан (яъне новобаста ба мо, новобаста ба дониши мо дар бораи он) вучуд дорад. Вале вобаста ба он, ки рӯйдодҳои электромагнитӣ дар чӣ гуна системаи сарҳисоб муойина мешаванд, ин ҷо он ҷиҳати майдони электромагнитӣ зоҳир мегардад. Ҳама системаҳои инерсиалии сарҳисоб (яъне системаҳои шастии сарҳисоб) баробарҳуқуқ ҳастанд. Бино бар ин ягон зухуроти мушоҳидашавандаи майдони электромагнитиро бартарӣ додан дуруст нест.

\*\*\*\*\*

Мувофиқи фарзияи Максвелл майдони электрикии тағйирёбанда хосияти майдонофаринандагӣ дорад ва майдони магнитии тағйирёбанда ба вучуд меоварад. Майдони электромагнитӣ майдони ягонаи том аст ва вобаста ба системаи муойинашавандаи сарҳисоб ин ҷо он хосияти худро зоҳир мегардонад.



1. Майдони магнитӣ дар натиҷаи чӣ гуна фарояндҳо ба вучуд меояд?
2. Агар гӯем, ки *дар ин ҷо он нуқтаи фазо танҳо майдони электрикӣ ҷ танҳо майдони магнитӣ вучуд дорад, сухани мо саҳеҳ ва муъайян намеояд. Чаро?*

## Ишғули ҳаққи ду масъала

1. *Контури росткунҷаи ABCD дар майдони магнитии ҷараёне, ки дар ноқили рости дароз ҷорист, сӯйи пеш мекӯҷад (рас.20). Самти ҷараёни дар контур индуксияшуда (илқошуда)-ро барои мавриди аз сим (ноқил) дур шудани контур муъайян кунед. Ба контур чӣ гуна қувваҳо таъсир меоваранд?*

*Ҳал.* Вектори  $B$ -и индуксияи магнитии майдони магнитии ҷараёни  $I$  аз мо амудан сӯйи ҳамвории контур равона аст. Дар сураги аз сим дур шудани контур сели магнитии ба масоҳати контури ABCD зананда кам мешавад ( $\Delta\Phi < 0$ ). Пас, вектори  $B$ -и индуксияи магнитии ҷараёни  $I$ , аз рӯйи қоидаи Ленс монанди вектори  $B$  аз мо сӯйи контур равона аст. Аз рӯйи қоидаи пармача фаҳмидан душвор нест, ки ҷараёни индуксионии дар контур пайдошаванда ба рафти акрабаки соъат ҷорист.

Таъсири мутақобили ҷараёни контурӣ бо ҷараёне, ки дар ноқили ростхатта ҷорист, бонси пайдоиши қувваҳои мегардад, ки онҳо ба ноқилҳои контур таъсир меоваранд. Қоидаи дасти чапро истифода карда, дидан мумкин аст, ки ин қувваҳо, аввалан, масоҳати қоб (рамка)-ро зиёд кардани шуда, он (қоб)-ро кашида медоранд ва, сониян, қувваи натиҷавис ба вучуд меоваранд, ки сӯйи ноқили росткунҷа самт дорад. Ҳарду таъсирот «мекӯшанд», ки монети кам шудани сели магнитии аз тариқи контур гузаранда бошанд.

2. Ҳалқаи абарноқилӣ дар майдони магнитии якҷинсае воқеъ аст, ки индуксияи он аз сифр то  $B_0$  меафзояд. Хатҳои индуксияи майдон сӯйи ҳамвории ҳалқа (амудан) равонаанд. Қувваи ҷараёни индуксиониро ёбед, ки дар ҳалқа ба вучуд меояд. Радиус (шӯб)-и ҳалқаро баробари  $r$  гиреду индуктивияти онро – баробари  $L$ .

*Ҳал.* Азбаски муқовимати ҳалқа баробари сифр аст, пас, қувваи муҳаррикакии электрикӣ низ дар он бояд сифрӣ бошад.

Дар акси ҳол аз рӯйи қонуни Ом қувваи ҷараён андар ҳалқа беандоза зиёд мебуд. Пас, тағйироти сели магнитии майдони магнитии беруни



Рас.20.

модулан баробари тағйироти сели офаридаи чараёни индуксионӣ мебошад (вале аломати ба он муқобил дорад):  $\Delta\Phi = LI$ . Азбаски дар ин маврид сели  $\Phi_0$  аз 0 то  $\pi r^2 B_0$  меафзояду чараёни индуксионӣ аз 0 то  $I$  тағйир меёбад, пас,

$$\pi r^2 B_0 = LI$$

хоҳад буд, ки аз ин ҷо:

$$I = \frac{1}{L} \pi r^2 B_0$$

### Саволҳо

1. Калиди дар рас.1,а тасвиршударо мепайвандем. Дар ин лаҳза чараён дар ғалтаки поёнӣ (агар аз боло нигарем) муқобили ғашти ақрабаки соҳат равона мебошад. Ғалтаки болоро беҳаракат мепиндорем. Чараён дар ин ғалтак кадом сӯ равона аст?

2. Магнитро (рас.2,б) аз ғалтак берун мекашанд. Чараёни индуксионӣ дар ғалтак кадом сӯ равона мешавад?

3. Магнитро (рас.5) ба ҳалқаи яқлухт наздик мекунанд. Чараёни индуксионӣ дар ҳалқа кадом сӯ равона мешавад?

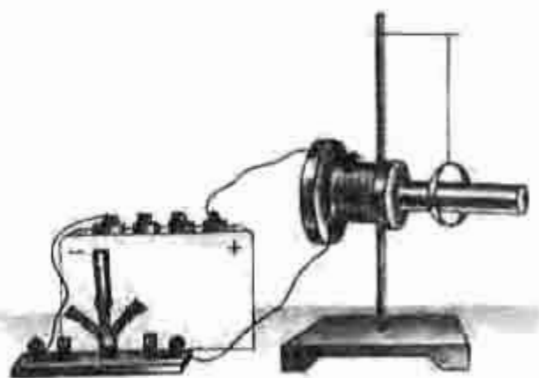
4. Қувваи чараён дар ноқилии  $OO'$  (рас.20) майли кам шудан дорад. Самти чараёни индуксиониро дар контури беҳаракати ABCD ва самти қувваҳои ба ҳар як тарафи контур таъсироварандаро ёбед.

5. Ҳалқаи филизӣ ба қадди магза (дилак)-и ғалтаки дар рас. 21 тасвиршуда озодона ҳаракат карда метавонад. Ғалтак дар занҷири чараёни доимӣ пайваस्त аст. Дар лаҳзаҳои пайвастан ва қандани занҷир чӣ падида рӯй медиҳад?

6. Қувваи чараён дар ғалтак мутаносибан ба вақт меафзояд. Вобастагии қувваи чараён ба вақт дар ғалтаки дигаре, ки бо ғалтаки яқум ба таври индуктивӣ пайваस्त (яъне илқопайваस्त) мебошад, чӣ гуна «рафтор» хоҳад дошт?

7. Дар кадомин мавриди зерин ларзиши ақрабаки асбоби магнито-электрикӣ зудтар қарор мегирад: вақте ки ноқилҳои пайваस्तкунандаи асбоб бо якдигар кӯтоҳ пайваस्त бошанд ё вақте ки онҳо аз ҳам ҷудо бошанд?

8. Сели магнитие, ки ба ноқилконтури муқовиматаш 0,03 Ом мезанад, дар тӯли 2с ба қадри 0,012 Вб тағйир ёфт. Тағйироти селро доимӣ



Рас.21.

пайдошавандаро ёбед.

9. Ҳавопаймо бо суръати 900 км/ст парвози уфуқӣ мекунад. Дурии нӯгҳои болҳои ҳавопайморо 12 м ва модули ҷузъи амудии индуксияи магнитии майдони магнитии Замиро  $5 \cdot 10^{-5}$  Тл гирифта, фарқи потенциалҳоеро ёбед, ки дар байни нӯгҳои болҳо ба вучуд меояд.

10. Қувваи ҷараён дар ғалтаки дорои индуктивияти 0,15 Ҳн ва муқовимати бисёр ками  $r$  баробари 4А аст. Ғалтакро бо резистори муқовиматаш  $R \gg r$  мувозӣпайваст (пайвастии параллелӣ) карданд. Агар манбаъи ҷараён аз занҷир ба якборагӣ канда шавад, дар ғалтак ва резистор чӣ қадр гармо ҷудо мешавад?

## Мухимтарин хулосаҳои боби шумо

Аввал худ шумо бикӯшед, ки муҳимтарин нуқтаҳои ин бобро ба хотир биёред. Хулосаҳои худро дар дафтари физика сабт кунед. Онҳоро ба бандҳои алоҳида тақсимбандӣ кунед. Баъд ба муойинаи хулосаҳои мо, ки ин ҷо оварда шудаанд, пардозед ва онҳоро бо хулосаҳои худ муқоиса кунед.

1. Моҳияти падидаи индуксияи электромагнитӣ (илқои электромагнитӣ) дар ин аст, ки дар контури сарбаст дар натиҷаи тағйироти сели магнитии ба сатҳи фарогирифтаи контур зананда қувваи муҳаррикакии электрикӣ (ҚуМЭ)-и индуксионӣ ба вучуд меояд. Қори генераторҳои тавлидсозандаи ҷараёни электрикӣ бар ҳамин падида асос ёфтааст. Ба гуфти қонуни индуксияи электромагнитӣ дар контури сарбаст ҚуМЭ-и индуксионӣ ба суръати бо аломати «минус» гирифташудаи тағйироти сели магнитӣ баробар мебошад:

$$\varepsilon_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

2. Ба талаби қондаи Ленс ҷараёни индуксионии дар контури сарбаст пайдошаванда бо майдони магнитии худ монеъи он гуна тағйироти сели магнитӣ мегардад, ки ин тағйиротро ба миён овардааст.

3. Дар ноқили беҳаракат қувваи ғайр он аст, ки ба зарраҳои барқаманд (зарраҳои электрон) аз тарафи майдони электрикии тӯфонии зодаи майдони магнитии тағйирёбанда таъсир мекунад. Дар ноқили ҳаракаткунанда қувваи ғайр ҳамон қувваи магнитии Лоренс аст, ки ба зарраҳои барқаманди ҳамроҳи ноқил

харакаткунанда таъсир меоварад.

4. Як мавриди хусусии индуксияи электромагнитӣ падидаи худ-индуксия мебошад. Ҳангоми рӯй додани худ-индуксия майдони магнитии тағйирёбанда  $KyMЭ$ -и индуксиониро дар ноқиле, ки дар он худӣ чараёни индуксиякунанда ҷорист, индуксия мекунад.  $KyMЭ$ -и худ-индуксия ба суръати тағйироти қувваи чараён дар ноқил мутаносиб мебошад:

$$\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

5. Зариф (коэффициент)-и мутаносибии  $L$  индуктивият ном гирифтааст. Индуктивият ба шаклу андозаҳои ноқил ва инчунин ба хосиятҳои муҳити мавҷудияти ноқил бастагӣ дорад. Ба сифати воҳиди индуктивият *ҳенри* ( $X_H$ ) қабул шудааст ва ин аст:

$$1X_H = 1 \frac{B \cdot c}{A}$$

6. Энергияи майдони магнитии чараён баробари қорест, ки онро манбаъ барои ба вучуд овардани ҳамин чараён иҷро мекунад. Ин аст он энергия:

$$W_M = \frac{LI^2}{2}$$

7. Максвелл аз таҳлили падидаи индуксияи электромагнитӣ хулоса гирифт, ки майдони электрикии тӯфонӣ зодаи майдони магнитии тағйирёбанда мебошад. Баъд ӯ тахмин кард, ки майдони электрикии тағйирёбанда, дар навбати худ, майдони магнитии тӯфонӣ ба вучуд оварда метавонад.

## ЛАРЗИШҶО ВА МАВҶО

Боби 2. Ларзишҳои электромагнитӣ

Боби 3. Истеҳсол, интиқол ва истифодаи энергияи  
электрикӣ

Боби 4. Мавҷҳои электромагнитӣ

Кашфи падидаи индуксияи электромагнитӣ (илқои электромагнитӣ) тасаввуроти моро дар бораи майдони электромагнитӣ густариш дод, онро амиқтар кард. Вале гап на танҳо дар ин аст. Рӯйдоди падидаи худ-индуксия ҳастанд, ки зарраи барқаманд (зарраи электрон) ларзиш хӯрда метавонад, қувваи ҷараён ва бузургҳои дигари таҷрибаҳои занҷири электрикӣ тағйир ёфта метавонанд. Ин ларзишҳо *ларзишҳои электромагнитӣ* ном гирифтаанд.

Ларзишҳои электромагнитӣ бо ларзишҳои механикӣ, ки шумо онҳоро дар синфи 1 X омӯхта будед, умумияти бисёр доранд.

Чунин ба назар мерасад, ки гӯё дар байни чунбиши *ованг* (номи пешинааш: раққосак) ва тағйироти ҷараёни ба воситаи ғалтак *ХОЛӢ* (бебарқа) шудани конденсатор ҳеҷ гуна умумият набошад. Аммо ин тавр нест. Ларзишҳои механикӣ электромагнитӣ тобеъи ҳамон як қонуниятҳои микдорианд.

Инро дарк кардан душвор нест, ба шарте ки мо сарфи назар аз он кунем, ки *ҷӣ* (бори сари фанар ё ҷараёни электрикӣ дар занҷир) меларзад ё мелапад, балки ба он бингарем, ки ҳамин (ларзишҳои лапшишҳо) *ҷӣ тавр* рӯй медиҳанд. Рӯйдодҳои мавҷии гуногунтабиъат низ тобеъи қонунҳои якхела буда метавонанд.

Дар физикаи муосир як фасли мустақил – «Физикаи ларзишҳо» ба майдон вучуд омад, ки дар он ларзишҳои гуногунтабиъат аз ҳамон як нуқтаи назари умумӣ муойина мешаванд. Физикаи ларзишҳо татбиқҳои зиёд ва муҳим дорад. Дар ин фасли физика ларзиши мошинҳои механизмҳо таҳқиқ мешавад. Дастовардҳои он дар электротехникаи ҷараёнҳои тағйирёбанда ва радиотехника майдони фарохи татбиқ доранд.

*Дар ин боб мо бо муойинаи ларзишҳои электромагнитӣ машғул мешавем. Ва бояд бигӯем, ки муойиноти мо назар ба он, ки дар физикаи синфи 1X дар бораи ларзишҳои механикӣ баён шудааст, аз нигоҳи илмӣ амиқтар хоҳад буд. Дониши шумо аз риёзиёт (математика) акнун барои омӯзиши чуқуртари ин фасл кофист. Мо ин ҷо дар хусуси ларзишҳои механикӣ низ камубеш сухан меронем, то ки ягонагии рӯйдодҳои ларзишҳои табиъатро бетаъкид мағзорем.*

### §11. Ларзишҳои электромагнитии озод ва маҷбури

*Ларзишҳои электромагнитиро низ ба вуҷуд овардан осон аст, он сон, ки мо қисмеро дар сари фанар (пружин) овехта, онро ҷунбиши медиҳем. Вале мушоҳидаи ларзишҳои электромагнитӣ чандон осон нест, зеро мо на рафти падидаи барқаманд шудани конденсаторро дида метавонему на ҷараёни электрикии дар ғалтак пайдошавандаро.*

Кашфи ларзишҳои электромагнитӣ то дараҷае тасодуфӣ буд. Баъди он ки банкаи лейденӣ (яъне нахустин конденсатор) ихтироъ карда шуд ва олимони тарзҳои бо ёрии мошини электростатикӣ ба он додани барқаҳои зиёдро ёд гирифтанд, ба омӯзиши падидаи аз барқа холӣ шудан, яъне тахлия (беварқа, пардаҳт) шудани он банка пардохтанд. Рӯяҳои банкаи лейдениро ба воситаи ғалтаки симин ба ҳам пайваста, диданд, ки симҳои пӯлодини даруни ғалтак магнитнок мешаванд. Ин ҷойи таъачҷуб надошт: ҷараёни электрикӣ «вазифадор буд», ки мағза (дилак)-и пӯлодинро магнитнок кунад.

Чизи дигар таъачҷубангез буд: пешакӣ тахмин кардан илоҷ надошт, ки кадом нӯги мағзаи ғалтак кутби «шимол» мешаваду кадомаш – «ҷануб». Такрори таҷриба дар ҳамон як шароит натиҷаи ҳархела меод. Ва на якбора дарк кардан муяссар гардид, ки ҳангоми ба воситаи ғалтак беварқа шудани конденсатор ларзиши электромагнитӣ рӯй медиҳад. Дар

муддати рӯй додани тахлия (пардаҳт)-и электрикӣ конденсатор чандин бор пури барқа ва боз холӣ мешавад ва чараён борҳо самти худро тағйир медиҳад. Ба ҳамин сабаб мағза ба тарзҳои гуногун магнитнок шуда метавонад.

Тағйироти даврӣ ё қариб даврии барқа, қувваи чараён ва *волтажуро*<sup>1</sup> ларзиши электромагнитӣ мегӯянд.

Ин ларзишҳо бо басомади назар ба басомадҳои механикӣ хеле зиёд рӯй медиҳанд. Бино бар ин хубтарин воситаи мушоҳида ва таҳқиқи онҳо осциллограф (ларзишнигор)-и электронӣ аст.

Дар найчаи электронӣшӯёи осциллограф дастаи борики электронҳо ба экране мезанад, ки он бо таъсири электронҳо нур меафканад. Ба лавҳаҳои уфукимайлдихандаи найчаи волтажи тағйирёбандаи «аррашакл» (рас. 22), ки вазифаи густаришдихандаги дорад, дода мешавад. Ин волтаж нисбатан охиста меафзояд, аммо зуд кам мешавад. Майдони электрикии байни лавҳаҳо шӯёи электрониро маҷбур месозад, ки экранро дар самти уфуқӣ бо суръати дойимӣ паймояд ва баъд қариб онан (дафъатан) ақиб гардад. Баъд ин амал саропо такрор мешавад. Акнун агар лавҳаҳои амудимайлдихандаи найча ба конденсатор пайваста шаванд, он гоҳ пасту баланд шудани волтаж хангоми холӣ (бебарқа) шудани конденсатор дастаи электрониро ларзиш медиҳад. Дар натиҷа дар экран «густара»-и замони ларзишҳои дастаи электронӣ ҳосил мешавад (рас.23), мисли он, ки ованг (раққосак)-и қаламдор дар рӯйи коғазварақи равон мекашад. Ҳама гуна ларзиш (навасон) бо мурури замон хомӯш мешавад<sup>2</sup>.

Ин ларзишҳо ларзишҳои озоданд. Ларзишҳоеро *ларзиши озод* ё *ларзиши озодона* мегӯянд, ки баъди аз ҳолати мувозанат баровардани системаи ларзишзо дар он система ба вучуд меоянд. Дар мисоли мо системаи ларзишзо дар натиҷаи барқаманд кардани конденсатор аз ҳолати мувозанат

<sup>1</sup>Номи пешинан волтаж *шиддат* буд (С. Қ.).

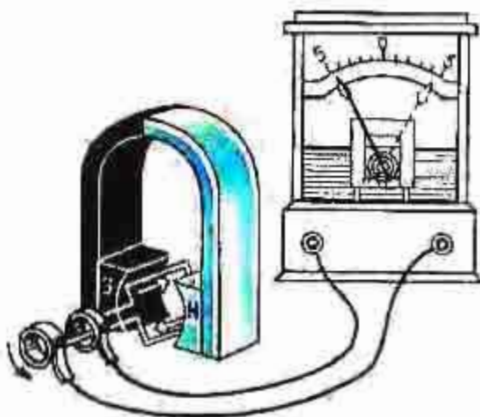
<sup>2</sup>Ларзишҳои дар занҷири электрикӣ рӯйдиханда аксаран дар тӯли ҳиссаҳои сония хомӯш мегарданд. Бино бар ин барои мушоҳидаи онҳо осциллографро истифода кардан хубтар аст, ки экрани он бо таъсири электронҳо муддати мадиде шӯълавар бимонад.



бароварда мешавад. Барқаманд шудани конденсатор монанди он аст, ки гуё мо овангро аз мавқеи мувозанат ин ё он сӯ майл дода бошем.

Дар занҷири электрикӣ ҳосил кардани ларзишҳои маҷбури низ душвор нест. Ларзишҳоеро *ларзиши маҷбури* меноманд, ки дар занҷир бо таъсири қувваи муҳаррикаи электрикии даврии берунӣ ба вучуд меоянд.

Қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚуМЭ)-и тағйирёбанда, масалан, дар қоб (рамка)-и симини иборат аз якчанд печ хангоми дар майдони магнитӣ гардиш хӯрдани он пайдо мешавад ( рас.24). Пайдоиши ҚуМЭ-и индуксионӣ дар ин маврид заминаи зайл дорад: электронҳои ҳамроҳи ноқилҳои қоб ҳаракаткунанда аз тарафи майдони магнитӣ таъсир мебинанд; электронҳоро ба қадди ноқил ҳамин қувва ҳаракат медиҳад (мекӯҷонад). Азбаски сели магнитии ба қоб зананда ба таври даврӣ тағйир меёбад, пас, мувофиқи қонуни индуксияи электромагнитӣ ҚуМЭ-и индуксионӣ низ ба таври даврӣ тағйир мепазирад. Дар сурати сарбаст кардани занҷир ҚуМЭ-и тағйирёбанда чараёни тағйирёбанда ба вучуд меоварад ва

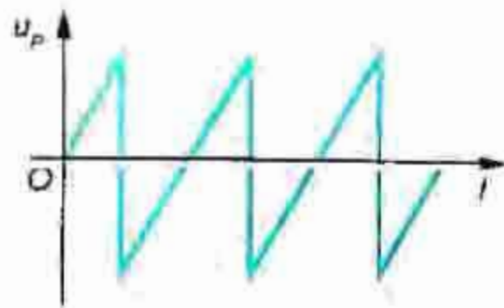


Рас. 24.

акрабаки галванометр дар назди мавқеи мувозанати худ ларзиш мехӯрад.

\*\*\*\*\*

Ларзишҳои электромагнитии озод дар натиҷаи фароянди ба воситаи галтаки индуктивӣ (илқо-галтак) ҳолӣ шудани конденсатор



Рас.22.



Рас.23.

пайдо мешаванд. Ларзишҳои маҷбуриро ҚумЭ-и даврӣ тағйирёбанда ба вучуд меоварад.



1. Чиро ларзиши электромагнитӣ мегӯянд?

2. Тафовути ларзишҳои электромагнитии озод ва маҷбури дар чист?

## §12. Контури ларзиш

### Тафовути ларзишҳои электромагнитии озод ва маҷбури

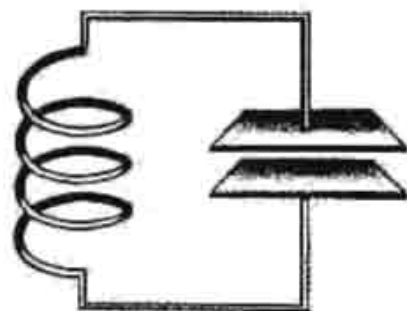
Содатарин системае, ки дар он ларзишҳои электромагнитии озод рӯй дода мешаванд, аз конденсатор ва як галтаке иборат аст, ки ба рӯяҳои конденсатор пайваста шудааст (рас.25). Ин гуна система контури ларзишзо ном гирифтааст.

Биёед бинем, ки ларзишҳо дар ин контур ба чӣ сабаб рӯй медиҳанд. Конденсаторро муддате ба ягон батаре пайваста, онро барқаманд мекунем, яъне ба он барқа (заряди электрикӣ) медиҳем (рас.26,а). Дар ин сурат конденсатор ин миқдор энергия мегирад:

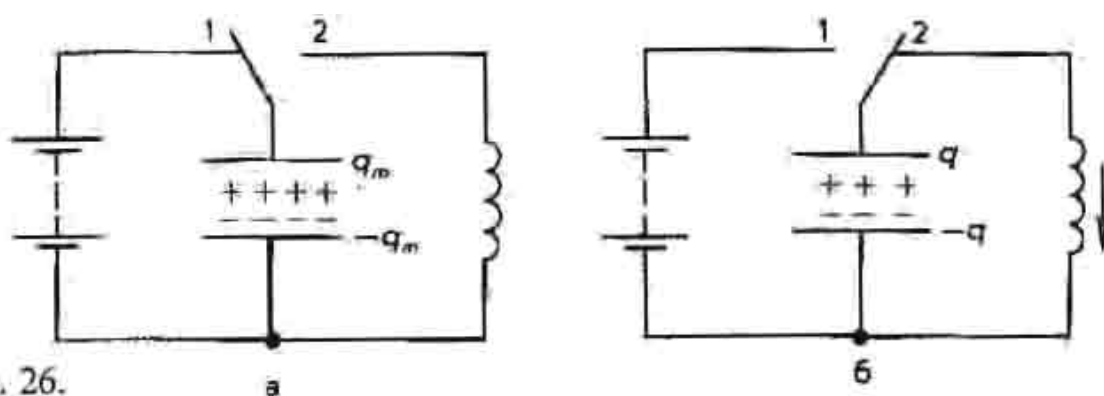
$$W_p = \frac{q_m^2}{2C}, \quad (2.1)$$

ки ин ҷо  $q_m$  барқаи конденсатор асту  $C$  – гунҷойиши электрикии он. Он гоҳ дар байни рӯяҳои конденсатор фарқи потенциалҳои  $U_m$  ба вучуд меояд.

Калидро ба ҳолати 2 мегардонем (рас. 26,б). Он гоҳ конденсатор аз барқаи худ холӣ шудан мегирад – дар натиҷа дар занҷир ҷараёни электрикӣ ба вучуд меояд. Қувваи ин ҷараён оҳиста-оҳиста меафзояд, яъне на якбора ба қимати зиёдтарини худ мерасад. Сабаби ин дар падидаи худ-индуксия аст. Баробари пайдоиши ҷараён майдони магнитии тағйирёбанда низ ба вучуд меояд. Ин майдон дар ноқил майдони электрикии тӯфонӣ ба вучуд меоварад (дар ин бора дар боби 1 сухан рафта буд). Ана ҳамин майдони электрикии тӯфонӣ аст, ки ҳангоми «ҷон гирифтани»-и майдони



Рас. 25.



Рас. 26.

магнитӣ муқобили чараён амал карда, монехи якбора афзудани он чараён мешавад.

Ба қадри холӣ (бемарка) шудани конденсатор энергияи майдони электрикӣ кам мешавад, вале дар айни ҳол энергияи майдони магнитии чараён меафзояд ва ин энергия чинин ёфта мешавад:

$$W_M = \frac{Li^2}{2} \quad (2.2)$$

Ин ҷо  $i$  қувваи чараёни тағйирёбанда асту  $L$  – индуктивияти ғалтак.

Энергияи пурраи майдони электромагнитии контур  $W$  баробари ҳосили ҷамъи энергияи майдони магнитӣ ва энергияи майдони электрикӣ аст:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C} \quad (2.3)$$

Дар лаҳзаи комилан холӣ шудани конденсатор ( $q=0$ ) энергияи майдони электрикӣ баробари сифр, вале энергияи майдони магнитии чараён мувофиқи қонуни бақои энергия зиёди зиёд мешавад. Дар ин лаҳза қувваи чараён низ ба қимати зиёдтарини худ мерасад.

Бо вучуди он ки то ин лаҳза фарқи потенциалҳо дар нӯғҳои ғалтак баробари сифр мешавад, чараёни электрикӣ на якбора қатъ мегардад. Ба ин падидаи худ-индуксия монех мешавад. Ва ҳамин ки кам шудани қувваи чараёну майдони магнитии зодаи он оғоз ёфт, майдони электрикии тӯфоние ба вучуд меояд, ки чараёнро зӯртар мекунад.

Дар натиҷа конденсатор то дами оҳиста-оҳиста холӣ шуда,

ба сифр расидани кувваи чараён пур шудан мегирад. Дар ин лаҳза энергияи майдони магнитӣ низ сифрӣ мешавад, вале энергияи майдони электрикии конденсатор боз ба қимати зиёдтарин мерасад.

Баъди ин конденсатор аз сари нав пурбор (барқаманд) шудан мегирад ва система ба ҳолати ибтидоӣ бозмегардад. Агар талафи энергия вучуд намедошт, ин падида мuddатҳо идома меёфт, яъне ларзишҳои электрикӣ хомӯшнашаванда мебуданд ва пас аз ҳар як даври ларзиш ҳолати система айнан такрор мешуд. Энергияи пурра дар ин маврид бақо медошт ва қимати он дар ҳар лаҳзаи вақт ба энергияи зиёдтарини майдони электрикӣ ё ба энергияи зиёдтарини майдони магнитӣ баробар мебуд:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C} = \frac{q_m^2}{2C} = \frac{I_m^2}{2}$$

Аммо дар асл талафи энергия ноғузир аст, зеро ғалтак ва ноқилҳои пайваस्तкунанда соҳиби ин ё он муқовиматанд. Ҳамин аст, ки энергияи майдони электромагнитии контур оҳиста-оҳиста ба энергияи дохилии ноқил бадал мешавад.

\* \* \* \* \*

Дар контури ларзишзо энергияи майдони электрикии конденсатори барқаманд (конденсатори пурбор) ба таври даврӣ ба энергияи майдони магнитии чараён бадал мешавад. Дар сурати дар система вучуд надоштани муқовимат энергияи пурраи майдони электромагнитӣ бетағйир мемонад.



1. Оё шумо метавонед, ки як контури ларзишзо бисозед?
2. Энергияи контури ларзишзо дар лаҳзаи дилхоҳи вақт ба чӣ баробар аст?

### §13. Шабоҳати байни ларзишҳои механикӣ ва электромагнитӣ

Ларзишҳои электромагнитии дар контур пайдошаванда ба ларзишҳои механикии озод, масалан, ба ларзишҳои бори сари

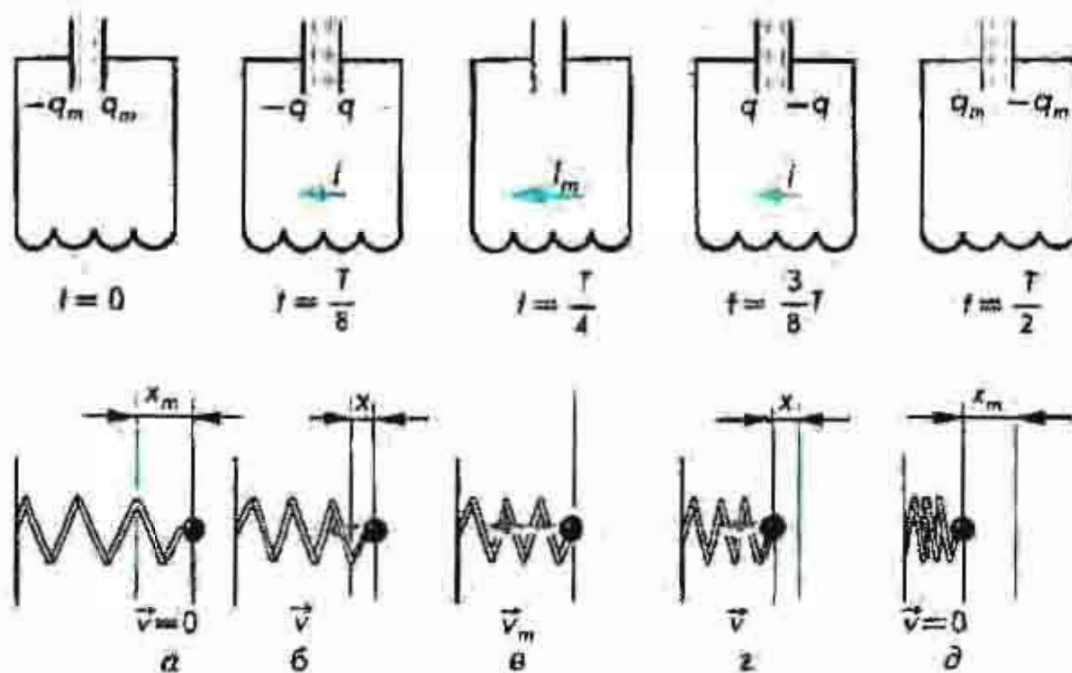
фанар (пружин) монандӣ доранд. Ин монандӣ на бо табиъати худи ин бузургиҳо (ки даврӣтағйирёбанда мебошанд), балки бо фарояндҳои ба таври даврӣ тағйир ёфтани бузургиҳои гуногун алоқаманд аст.

Дар ларзишҳои механикӣ ба таври даврӣ координати ҷисм  $x$  ва соя-тасвир (проексия)-и суръати он  $u_x$  тағйир меёбанду дар ларзишҳои электромагнитӣ – барқа (заряди электрикӣ)-и конденсатор  $q$  ва қувваи ҷараёни занҷир  $i$ .

Монанд будани тағйироти бузургиҳои механикӣ ва электромагнитӣ он гуна замина дорад, ки шароитҳои пайдоиши ларзишҳои механикӣ ва электромагнитӣ ба якдигар шабоҳат доранд. Ҷисми сари фанарро ба ҳолати мувозанат қувваи ҷандирие ( $F_x$ ) бармегардонад, ки он ба кӯчиши ҷисм (аз мавқеъи мувозанат) мутаносиб аст. Ва ин ҷо ба сифати зариб (коэффисент)-и мутаносибӣ саҳтии фанар  $k$  меояд. Тахлия (бебарқа) шудани конденсатор, яъне пайдоиши ҷараён ба волтажи байни рӯяхҳои конденсатор  $u$ , ки худ ба  $q$  мутаносиб аст, вобаста мебошад. Ин ҷо зариви мутаносибӣ бузургии чаппаи гуноҷойиши конденсатор, яъне  $1/C$  мебошад, зеро  $u=q/C$  аст.

Монанди он ки ба сабаби вучуд доштани инерсия (шасти ҳаракат) ҷисм бо таъсири қувва суръати худро на якбора зиёд карда метавонад ва ҳангоми қатъ гардондани таъсири қувва суръати ҷисм на якбора сифрӣ мешавад, ҳамин ҷараёни электрикӣ дар ғалтак аз ҳисоби падидаи худ-индуксия (худ-илқо) бо таъсири волтаж оҳиста-оҳиста меафзояд ва ҳангоми ба қимати сифрӣ расондани волтаж на якбора нопадид мегардад. Индуктивияти контур  $L$  ин ҷо ҳамон гуна мақом дорад, ки массаи ҷисм  $m$  дар механика дорад. Ба иборати дигар, ба

энергияи кинетикии ҷисм  $\frac{m}{2} u_x^2$  энергияи майдони магнитии ҷараён  $Li^2/2$  мувофиқ меояд. Мисли ҳамин, аз ҳисоби энергияи ҷараёни электрикии батаре барқаманд (пури барқа) шудани конденсатор шабеҳи он аст, ки ҷисми сари фанар (пружин) дар натиҷаи аз мавқеъи мувозанат ба қадри  $x_m$  кӯчондан соҳиби



Рас. 27.

энергияи потенциалии  $\frac{k}{2} x_m^2$  мегардад (рас. 27,а; дар ин расм мавқеъҳои мувозанат бо хатҳои амудии ранга ишорат шудаанд). Ин ифодаро бо энергияи конденсатор  $\frac{1}{2C} q_m^2$  муқоиса карда, мебинем, ки саҳтии фанар дар ларзиши механикӣ ҳамон гуна мақом дорад, ки бузургии чапҳои гунҷойиш (яъне  $1/C$ ) дар ларзишҳои электромагнитӣ дорад ва координати ибтидоӣ  $x_m$  шабеҳи барқои  $q_m$  мебошад.

Дар занҷири электрикӣ аз ҳисоби фарқи потенциалҳо ба вуҷуд омадани ҷараёни  $i$  шабеҳи мавриди дар системаи ларзандагӣ бо таъсири қувваи ҷандирии фанар суръати  $u_x$  гирифтани ҷисм мебошад (рас.27,б).

Лаҳзае, ки конденсатор ҳолӣ мешаваду қувваи ҷараён қимати зиёдтарин мегирад, мутобиқи мавридест, ки ҷисм аз мавқеъи мувозанат бо суръати зиёдтарин мегузарад (рас.27,в).

Баъд рӯяҳои конденсатор боз тағйири барқа мекунанду ҷисми сари фанар аз мавқеъи мувозанат сӯйи чап мекуҷад (рас.27,г). Пас аз ним даври ларзиш конденсатор комилан тағйири барқа мекунад ва қувваи ҷараён боз сифрӣ мешавад.

Ин мутобиқи ҳолати дар мавқеи канории чап қарор гирифтани қисми сари фанар аст, яъне дар ин маврид суръати қисм сифрӣ мешавад (рас.27,д).

Мутобиқати байни баъзе бузургиҳои механикӣ ва электрикии ҳосиларзишҳо дар қадв. 1 омадааст.

Қадв. 1

Бузургии механикӣ	Бузургии электрикӣ
Координат $x$	Барқа (бори электрикӣ) $q$
Суръат $U_x$	Қувваи ҷараён $i$
Масса (ҷирм) $m$	Индуктивият (худ-илқой) $L$
Сахтии фанар (пружин) $k$	Бузургии ҷалпаи гунҷойиш $\frac{1}{C}$
Энергияи потенциалӣ $\frac{kx^2}{2}$	Энергияи майдони электрикӣ $\frac{q^2}{2C}$
Энергияи кинетикӣ $\frac{mU_x^2}{2}$	Энергияи майдони магнитӣ $\frac{Li^2}{2}$



1. Шумо дар байни ларзишҳои электромагнитии дар контур рӯйдиханда ва ҷунбишҳои ованги рибзӣ (раққосаки математикӣ) чӣ шабоҳат мебинед?
2. Дар контури ларзишзо дар мақоми сахтии фанар омадани бузургии ҷалпаи гунҷойиш (яъне  $1/C$ )-ро шумо чӣ шарҳ медиҳед?

## §14. Муъодилаи таҷҳиси рӯйдолҳои контури ларзишзо

Ақсун ба муойинаи назарияи миқдории падидаҳои дар контури ларзишзо рӯйдиханда мепардозем. Ин душвортарин бахши боби 2 аст. Агар шумо, хонандаи азиз, бо қоидаҳои ҳосилагирӣ мусаллаҳ бошед, ин мавзӯро бо осонӣ дарк карда метавонед.

Контури ларзишзоеро бинем (рас.28), ки муқовимати он  $R$ -ро ба эътибор нагирифта мумкин бошад. Муъодилаи таҷҳиси ларзишҳои электрикии озоди дар контури ларзишзо рӯйдихандаро дар заминаи қонуни бақои энергия ҳосил кардан осон аст.

Энергияи электромагнитии пурраи контури ларзишзо  $W$  дар ҳар лаҳзаи вақт ба ҷамъи энергияҳои майдонҳои магнитӣ ва

электрикӣ баробар мебошад:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C}.$$

Ин энергия дар сурати сифрӣ будани муқовимати контур бо мурури замон тағйир намепазирад. Ва модом ки мо энергияро дойимӣ мепиндорем, ҳосилаи замони он баробари сифр хоҳад буд. Чунин ки бошад, чамъи ҳосилаҳои замонӣ аз энергияҳои майдонҳои магнитӣ ва электрикӣ низ баробари сифр меояд:

$$\left(\frac{Li^2}{2}\right)' + \left(\frac{q^2}{2C}\right)' = 0,$$

ё худ

$$\left(\frac{Li^2}{2}\right)' = -\left(\frac{q^2}{2C}\right)' \quad (2.5)$$

Муъодилаи (2.5) он гуна маъниро ифода мекунад, ки суръати тағйироти энергияи майдони магнитӣ модулан баробари тағйироти энергияи майдони электрикӣ аст ва аломати «минус» онро ифода мекунад, ки дар сурати афзудани энергияи майдони электрикӣ энергияи майдони магнитӣ мекоҳад (ва баръакс). Ва маҳз ҳамин аст, ки энергияи пурра тағйир намеёбад.

Ҳосилаи ҳарду тарафи муъодилаи (2.5)-ро ёфта<sup>1</sup>, ин ҳел менависем:

$$\frac{L}{2} 2ii' = -\frac{1}{2C} 2qq' \quad (2.6)$$

Аммо ҳосилаи замони барқа (бори электрикӣ) қувваи ҷараёнро ифода мекунад:

---

<sup>1</sup>Мо ин ҷо ҳосилаҳои замонӣ, яъне ҳосилаҳои нисбат ба вақт гирифташударо дар назар дорем. Бино бар ин ҳосилаи  $(i^2)'$  ба  $2i$  баробар на ба таври сода аст, (чунонки дар сурати нисбат ба  $i$  ҳосила гирифташуда мебуд), балки он  $2i$ -ро боз ба ҳосилаи замони қувваи ҷараён  $i'$  низ зарб задан мебошад, он тавр ки ҳосилаи функцияи мураккаб ёфта мешавад. Дар бораи ҳосилаи  $(q^2)'$  низ ҳаминро гуфта мебошад.