

Қазақстан республикасының білім және ғылым министрлігі  
А.Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті  
Электрэнергетика және физика кафедрасы

Д.К.Оразалинова

**ФИЗИКАДАН АНЫҚТАМАЛЫҚ**

Оқу-әдістемелік құрал

Қостанай, 2017

**УДК 53(075)**  
**ББК 22.3**  
**О 65**

**Рецензенттер:**

Джаманбалин Кадыргали Коныспаевич, ҚЭТУ ректоры  
Есимханов Саят Баkitович, А.Байтұрсынов атындағы ҚМУ, доцент  
Исинтаев Такабай Исинтаевич, А.Байтұрсынов атындағы ҚМУ, доцент

**Автор:**

Оразалинова Дамелі Қаирбекқызы, жаратылыстану магистрі, аға оқытушысы

О 65 Оразалинова Д.К.

Физикадан анықтамалық: жаратылыстану және техника ғылымдар және технологиялар бағыты бойынша білім алушылар үшін оқу-әдістемелік құрал; Қостанай, 2017.-96 б.

ISBN 978-601-7933-60-9

Оқу-әдістемелік анықтамалыққа физика курсының негізгі физикалық заңдары мен формулалары келтірілген.

5В060400-Физика және техника ғылымдар мен технология бағыты бойынша білім алушыларға арналған.

УДК 53(075)  
ББК 22.3

А.Байтұрсынов атындағы мемлекеттік университетінің Ғылыми-әдістемелік кеңесімен бекітілген, 26.04. 2017 хаттама № 3

ISBN 978-601-7933-60-9

© Оразалинова Д.К.,2017

## Мазмұны

|   |    |
|---|----|
| Кіріспе.....  | 4  |
| 1 Механика.....   | 5  |
| 1.1 Ілгерілемелі және айналмалы қозғалыстың кинематикасы мен динамикасы.....    | 5  |
| 1.2 материалдық нүктемен қатты дененің ілгерілемелі қозғалыстың динамикасы..... | 11 |
| 1.3 Жұмыс және энергия.....   | 13 |
| 1.4 Қатты дене механикасы.....  | 15 |
| 1.5 Тартылыс. Өріс теория элементтері.....                                      | 18 |
| 1.6 Сұйықтар механикасының элементтері.....                                     | 20 |
| 1.7 Арнайы салыстырмалылық теориясы.....  | 22 |
| 2 Молекулалық физика және термодинамика.....                                    | 24 |
| 2.1 Молекула-кинетикалық теория.....  | 24 |
| 2.2 Термодинамика негіздері.....  | 32 |
| 2.3 Термодинамиканың бірінші бастамасы.....                                     | 35 |
| 2.4 Нақты газдар. Сұйықтар.....   | 37 |
| 3 Электр және магнетизм.....  | 40 |
| 3.1 Кулон заңы.....   | 40 |
| 3.2 Тұрақты электр тогы.....  | 48 |
| 3.3 Магнит өрісі.....   | 56 |
| 3.4 Электромагниттік индукция.....  | 62 |
| 3.5 Максвеллдің теңдеулер жүйесі.....   | 69 |
| 3.6 Айнымалы электр тогы.....   | 71 |
| 3.7 Электромагниттік толқындар.....   | 79 |
| 4 Толқындық оптика.....   | 81 |
| 4.1 Жарық интерференциясы.....  | 81 |
| 4.2 Жарық дифракциясы.....  | 83 |
| 4.3 Жарық поляризациясы.....  | 92 |
| Қорытынды.....  | 95 |
| Қолданылған әдебиеттер тізімі.....  | 96 |

## Кіріспе

Физика пәнінен қысқаша анықтамалық физика курсының негізгі формулаларымен заңдарынан тұрады. Білім алушылар өзіндік жұмыс жасау кезінде және емтиханға дайындалу кезінде қолдануы мүмкін. Кестеде негізгі тұрақты шамалары енгізілген, олардың белгіленуі және өлшем бірлігі, өзара байланыс формулалары келтірілген.

Физика материя қозғалысының неғұрлым жалпы қасиеттері мен заңдарын зерттейді. Ол осы заманғы жаратылыстануда жетекші роль атқарады. Мұның өзі физикалық заңдардың, теориялардың және зерттеу әдістерінің барлық жаратылыс ғылымдары үшін шешуші мәні барлығымен байланысты.

Физика — қазіргі заманғы техниканың ғылыми негізі. Электротехника, автоматика, радиотелеметрия және техниканың басқа да көптеген салалары физиканың сәйкес бөлімдерінен дамып өрістеді. Ғылым мен техниканың әрі қарай дамуы физика жетістіктерінің техника мен өндірістің түрлі салаларына одан әрі неғұрлым терең енуіне алып келеді.

Жаратылыстану үшін және техниканы дамыту үшін физиканың мәні арта беруіне байланысты, физиканы білу қазіргі қоғамның әрбір адамына қажетті бола түсуде.

Физиканы оқып үйрену кезінде дүниеге ғылыми көзқарасты қалыптастыру процесі төмендегі негізгі элементтерді қамтиды: оқып үйренілетін физикалық құбылыстардың материялық табиғатын ашып көрсету; құбылыстар арасындағы байланыстарды тағайындау және оларды дұрыс түсіндіру; оқып үйренілетін физикалық заңдардың объективтік сипатын ашу; оқушыларды табиғат заңдарын танып білу және оларды табиғатты қайта өзгерту үшін пайдалану мүмкіндігіне көздерін жеткізу.

# 1 Механика

## 1.1 Ілгерілемелі және айналмалы қозғалыстың кинематикасы мен динамикасы.

Механика ғылымы – макроскопиялық денелердің қозғалысы мен өзара әсерлесуін зерттейтін ғылым. Механика гректің *mechanikē* деген сөзінен шыққан. Бұл машиналар жайындағы, оларды құрастыру өнері жайындағы ғылым дегенді білдіреді.

Халық аралық бірліктер жүйесі

**Өлшем бірліктерінің халықаралық жүйесі** (фр. *Système International d'unités, SI*) — өлшемдердің халықаралық қалыпы, метрикалық жүйесінің заманауи нұсқасы.

SI күнделікті өмірмен қатар ғылым және техникада әлемдегі ең көп пайдаланатын бірліктер жүйесі болып табылады. Қазіргі кезде әлемнің көп елдерінде SI заңды түрдегі бірліктер жүйесі ретінде қабылданған және тіпті күнделікті өмірде дәстүрлі бірліктерді қолданатын елдердің өзі осы жүйе бірліктерін ғылымда әрқашан дерлік пайдаланады. Осы аздаған елдер (мысалы, АҚШ) дәстүрлі бірліктердің өзін SI бірліктерне ауыстырған.

Бұл жүйе мына өлшемдерге негізделінеді: ұзындық, жол және орын ауыстыру үшін — метр, масса үшін — килограмм, уақыт үшін — секунд.

**Туынды физикалық шамалық өлшемін** тепе-теңдік коэффициенті және негізгі шамалардың нышандарының әртүрлі дәрежелері мен осы жүйеде қабылданған физикалық шамалармен байланысып жасалған өрнекті дәрежелі бір мүшенің формасындағы өрнек деп атайды. Бір мүшеге кіретін негізгі шамалардың нышандарының дәрежелерін бөлшектерден алады, оқ және теріс қаралатын шаманың байланысы негізгі болып табылады. Шаманың туындысының байланысы жүйенің басқа шамалары арқылы шама туындысының анықтау теңдеуімен өрнектеледі. Шама туындысының өлшемі олардың өлшемдерінің орнына анықтайтын теңдеуіне алмастыру жолымен анықталады.

1 кестеде негізгі физикалық тұрақтылардың сан мәндерімен белгіленулері және өлшем бірліктері келтірілген.

1 Кесте Негізгі тұрақты шамалары

| Тұрақты шаманың атауы      | белгіленуі | мәні                     | өлшем бірлігі              |
|----------------------------|------------|--------------------------|----------------------------|
| Гравитациялық тұрақтысы    | G          | $6,672 \cdot 10^{-11}$   | $\frac{H \cdot m^2}{kg^2}$ |
| Еркін түсу үдеуі           | g          | 9,8065                   | $m/c^2$                    |
| Атмосфералық қысым         | $p_0$      | 101325                   | Па                         |
| Авогадро тұрақтысы         | $N_A$      | $6,022045 \cdot 10^{23}$ | Моль <sup>-1</sup>         |
| Идеал газдың 1 молі көлемі | $V_0$      | 22,41383                 | $\frac{m^3}{\text{моль}}$  |

|  |                                 |  |                    |
|--|---------------------------------|--|--------------------|
| Газ тұрақтысы                            | R                               | 8,31   | $\frac{Дж}{мольК}$ |
| Больцман тұрақтысы                       | k                               | $1,3810^{-23}$                                 | Дж/К               |
| Вакуумдегі жарық жылдамдығы              | c                               | $3 \cdot 10^8$                                 | м/с                |
| Магниттік тұрақтысы                      | $\mu_0$                         | $4\pi \cdot 10^{-7} = 1,25 \cdot 10^{-6}$      | Гн/м               |
| Электрлік тұрақтысы                      | $\varepsilon_0$                 | $8,85 \cdot 10^{-12}$                          | Ф/м                |
| Электронның тыныштық массасы             | $m_e$                           | $9,1 \cdot 10^{-31}$                           | кг                 |
| Протонның тыныштық массасы               | $m_p$                           | $1,67 \cdot 10^{-27}$                          | кг                 |
| Нейтронның тыныштық массасы              | $m_n$                           | $1,6749 \cdot 10^{-27}$                        | кг                 |
| Элементарлық заряд                       | e                               | $1,6 \cdot 10^{-19}$                           | Кл                 |
| Зарядтың массаға қатынасы-меншікті заряд | $e/m_e$                         | $1,76 \cdot 10^{11}$                           | Кл/кг              |
| Фарадей тұрақтысы                        | F                               | $9,648456 \cdot 10^4$                          | Кл/моль            |
| Планк тұрақтысы                          | $h$<br>$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ | $6,62 \cdot 10^{-34}$<br>$1,05 \cdot 10^{-34}$ | Дж·с               |
| 1 ші бор орбита радиусы                  | $a_0$                           | $0,529 \cdot 10^{-10}$                         | м                  |
| Электронның тыныштық энергиясы           | $m_e c^2$                       | 0.511034                                       | МэВ                |
| Протонның тыныштық энергиясы             | $m_p c^2$                       | 938.2796                                       | МэВ                |
| Нейтронның тыныштық энергиясы            | $m_n c^2$                       | 939.5731                                       | МэВ                |

Кейбір физикалық шамаларын (өте үлкен сан мәнімен немесе өте кіші мәнімен берілген) қысқартылған өлшем бірлігімен беруі ыңғайлы, сондықтан 2 кестеде жиі кездесетін өлшем бірліктердің атаулары, белгіленуі, өлшем бірліктері де келтірілген.

2 кесте Есептерде кездесетін кейбір қысқартылған өлшем бірліктер

| қосымша |   | сан мәні | қосымша |    | сан мәні | қосымша |    | сан мәні | қосымша |   | сан мәні |
|---------|---|----------|---------|----|----------|---------|----|----------|---------|---|----------|
| экса    | Э | 18       | мега    | М  | 6        | деци    | д  | -1       | Нано    | н | -9       |
| пета    | П | 15       | кило    | к  | 3        | сантис  | с  | -2       | пико    | п | -12      |
| тера    | Т | 12       | гекто   | г  | 2        | милли   | м  | -3       | фемто   | ф | -15      |
| гига    | Г | 9        | дека    | да | 1        | микро   | мк | -6       | атто    | а | -18      |

Динамика және статикадағы кейбір шамаларының белгіленуі және мағыналары 3 кестеде келтірілген.

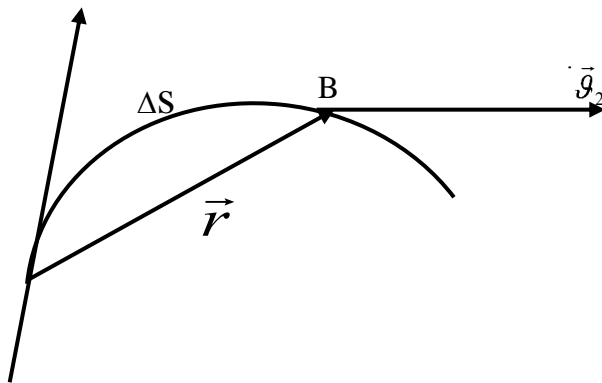
3 кесте Динамика және статика шамалары

| Белгіленуі | өлшем бірлігі | мағынасы |
|------------|---------------|----------|
| $F$        | Н             | күш      |

|          |                      |                    |
|----------|----------------------|--------------------|
| $p$      | кг·м/с               | импульс            |
| $a$      | м/с <sup>2</sup>     | үдеу               |
| $m$      | кг                   | масса              |
| $v$      | м/с                  | жылдамдық          |
| $P$      | Н                    | Дене салмағы       |
| $g$      | м/с <sup>2</sup>     | Еркін түсу үдеуі   |
| $E$      | Дж                   | энергия            |
| $A$      | Дж                   | жұмыс              |
| $N$      | Вт                   | қуат               |
| $t$      | с                    | уақыт              |
| $I$      | кг·м <sup>2</sup>    | Инерция моменті    |
| $L$      | кг·м <sup>2</sup> /с | Импульс моменті    |
| $M$      | Н·м                  | Күш моменті        |
| $\omega$ | с <sup>-1</sup>      | Бұрыштық жылдамдық |
| $l$      | м                    | Күш иіні           |

Кез келген дененің механикалық қозғалысын қарастыру кезінде механиканың негізгі міндетін шешу үшін бірнеше тәсілдер қолданылады. Олардың бірі координаталық тәсіл.

Дененің қозғалыс кезінде орнын анықтау үшін бастапқы нүктеден соңғы нүктелсіне дейінгі бағытталған радиус –векторы мен белгілейді.



Сурет 1 –Радиус-вектор

Радиус-вектор, материалдық нүктенің кеңістікте орнын анықтайтын вектор:  $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ , радиус вектордың модулі:

$$|\vec{r}| = r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1)$$

Қозғалыстың координаттық тәсілінің кинематикалық теңдеуі

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t) \quad (2)$$

### Жол ұзындығы

$$\Delta s = \Delta s(t) \quad (3)$$

Жылдамдық – қозғалыстың жылдам жасалатындығын және кез келген уақыт мезетіндегі бағытын анықтайтын векторлық шама.

а) орташа жылдамдық векторы  $\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$

б) Лездік жылдамдық векторы  $\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}$

в) Лездік жылдамдық модулі - жүрілген жолдың уақыт бойынша алынған туындысына тең:  $v = |\vec{v}| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$

г) Біркәліпсыз қозғалыстың орташа жылдамдығы (орташа жолдық жылдамдық)  $\langle v \rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

Жол ұзындығы уақыт интервалында:  $t_1$  ден  $t_2$  ге дейінгі уақыт аралығында жүріп өткен жол ұзындығы:

$$s = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt \quad (4)$$

Біркәліпты түзу сызықты қозғалыс үшін  $s = v \cdot \Delta t$

Үдеу – жылдамдықтың сан жағынан және шамасы жағынан тез өзгертіндігін сипаттайтын шамасы.

а) Орташа үдеу:  $\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$

б) Материалдық нүктенің лездік жылдамдығы:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{a} \quad (5)$$

Үдеу векторы жазық қисықсызықты қозғалыс жағдайында екі құраушысының қосындысына тең:

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau \quad (6)$$



Тангенциал үдеу- жылдамдықтың модуль жағынан тез өзгертіндігін сипаттайтын шама:

$$a_{\tau} = \frac{dv}{dt} \quad (7)$$

Нормаль (центрретартқыш) үдеу траекторияға нормаль бойымен бағытталған және жылдамдықтың бағыты жағынан тез өзгертінлігін сипаттайтын шамасы:

$$a_n = \frac{v^2}{R} \quad (8)$$

Толық үдеудің шамасы:

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_{\tau}^2} \quad (9)$$

Айнымалы (өзгермелі) қозғалыс кезіндегі жүрілген жол:

$$s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2} \quad (10)$$

«-» таңбасы-бірқалыпты кемімелі қозғалыс үшін, ал «+» таңбасы бірқалыпты үдемелі қозғалыс үшін алынады.

Айнымалы (өзгермелі) қозғалыс кезіндегі жылдамдық:

$$v = v_0 \pm at \quad (11)$$

мұндағы  $v_0$  - бастапқы жылдамдық.

Бұрыштық жылдамдық:

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} = \vec{\dot{\varphi}}, \quad \omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (12)$$

Бірқалыпты айналмалы қозғалыс кезіндегі бұрыштық жылдамдық:

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n \quad (13)$$

мұндағы  $T$  - айналу периоды,

$n = N/t$  - айналу жиілігі,

$N$  -  $t$  уақыт ішінде дене жасаған айналу саны

Бұрыштық үдеу  $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$ , немесе  $\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t}$

Бірқалыпты айналмалы қозғалыс үшін айналу бұрышы:  $\varphi = \omega t$ .

Бірқалыпты айнымалы (өзгермелі) қозғалыс үшін айналу бұрышы:

$$\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2} \quad (14)$$

Бірқалыпты айнымалы (өзгермелі) қозғалыс кезіндегі бұрыштық жылдамдық  $\omega = \omega_0 + \varepsilon t$ , мұндағы  $\omega_0$  - бастапқы бұрыштық жылдамдық

Бұрыштық және сызықтық шамалар арасындағы байланыс:  $s = R \cdot \varphi$ ,  
 $v = R \cdot \omega$ ,  $a_\tau = R\varepsilon$ ,  $a_n = \omega^2 R$ , мұндағы  $R$  - нүктенің айналу осіне дейінгі қашықтығы.

## 1. 2. Материалдық нүктемен қатты дененің ілгерілемелі қозғалыстың динамикасы.

Ньютонның бірінші заңы (инерция заңы): Материалдық нүкте (дене) бірқалыпты түзу сызықты қозғалыс немесе тыныштық күйін, басқа денелер оны өзгерптегенше сақтайды.

Күш –денеге басқа денелер жағынан механикалық әрекеттің өлшемі болып табылатын векторлық шама, нәтижесінде дене не өлшемдерімен пішіндерін өзгертеді не үдеу алады.  $\vec{F}$  күш, егер оның модулі мен кеңістіктегі бағыты берілген болса және түсіру нүктесі берілген болса, толық берілген болып табылады. Өлшем бірлігі (Н) Ньютон.

Масса ( $m$ ) материяның инерциондық және гравитациялық негізгі қасиеттерін анықтай алатын физикалық шама. Өлшем бірлігі – килограмм.

Импульс (қозғалыс мөлшері) –материалдық нүктенің оның жылдамдығына көбейтіндісіне тең векторлық шама  $\vec{p} = m\vec{v}$ .

Ньютонның екінші заңы (материалдық нүкте динамикасының негізгі теңдеуі немесе ілгерілемелі қозғалыс динамикасының негізгі теңдеуі):

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}; \text{ немесе } F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Осы заңды траекторияға нормаль және тангенциал проекцияларына анықтап алып да жазуға болады  $F_\tau = ma_\tau = m \frac{dv}{dt}$ ,  $F_n = ma_n = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R$

Ньютонның үшінші заңы. Материалдық нүктелердің (денелердің) бір-біріне әрекеті бағыты жағынан қарама-қарсы, сан жағынан өзара тең. Бір-біріне әрекет жасап тұрған екі нүктенің күші әрқашанда модуль жағынан тең, ал бағыты жағынан қарама-қарсы және бір бағыт бойымен бағытталған.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (15)$$

Элементарлық күш импульсі:  $\vec{F}dt = m d\vec{v}$ , немесе  $\vec{F}\Delta t = m\Delta\vec{v}$

Сырғанау үйкеліс күші  $F_{mp} = fN$ , мұндағы  $f$  - сырғанау үйкеліс коэффициенті,  $N$  – нормал қысым күші, немесе нормаль реакция күші.

Домалау үйкеліс күші  $F_{mp} = \frac{f_\kappa N}{r}$ , мұндағы  $f_\kappa$  -домалау үйкеліс коэффициенті,  $r$  - домалап тұрған дененің радиусы.

Ауырлық күші  $\vec{P} = m\vec{g}$  жер бетіне жақын орналасқан кез келген материялық бөлшекке әсер ететін күш.

Салмақ  $\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a})$  -дененің тіреуішке немесе ілмеге әсер ететін күш

Серпімділік күш  $\vec{F} = -k\vec{r}$ , мысалы: серіппенің созылу немесе сығылу кезіндегі деформацияның серпімділік күші  $F = -kx$ ,  $k$  - серіппе қатандығы,  $x$  - серпімді деформация.

Тұйық жүйе үшін импульстің сақталу заңы:

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = const \quad (16)$$

немесе  $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_0 + \vec{p}_2$  немесе  $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$

Материалдық нүктелердің масса центрлерінің координаталары.

$$x_c = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}, \quad y_c = \frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i}, \quad z_c = \frac{\sum m_i z_i}{\sum m_i} \quad (17)$$

Жүйенің барлық нүктелердің массасы бір материалдық нүкте массасында «жинақталған» масса центрі әсер ететін сыртқы күштердің геометриялық қосындысына тең нүкте ретінде қозғалады.

$$m \frac{d\vec{v}_c}{dt} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \quad (18)$$

массасы айнымалы дененің қозғалыс теңдеуі (Мещерский теңдеуі)

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{F}_p \quad (19)$$

мұндағы  $\vec{F}_p = -\vec{u} \frac{dm}{dt}$  - реактивті күш ( $\vec{u}$  - ракетадан газдың ағып шығу жылдамдығы)

Ракета жылдамдығын анықтаудың Циолковский формуласы:

$$\vec{v} = \vec{u} \ln \frac{m_0}{m} \quad (20)$$

Ол мынаны көрсетеді:

- 1) ракетаның соңғы массасы неше есе артық, сонша ракетаның старттағы массасы артық болуы мүмкін;
- 2) газдардың ағып шығу жылдамдығы неше есе артық болады, сонша соңғы массасы да стартты ракета массасында артық болуы мүмкін.

Бұл өрнектер релятивистік емес қозғалыстар үшін алынған, яғни жылдамдықтары жарықтың вакуумдегі жылдамдықтардан аз болған жағдайлар үшін ғана мәлім.

### 1.3. Жұмыс және энергия

Тұрақты күштің жасаған жұмысы:

$$dA = F_s ds = F \cdot ds \cdot \cos \alpha \quad (21)$$

мұндағы  $F_s$  -орын ауыстыру бағытына күш проекциясы,  
 $\alpha$  -орын ауыстыру мен күш бағыты арасындағы бұрыш.

$S$  жолында айнымалы күш жасап тұрған жұмыс:

$$A = \int_s F_s ds = \int_s F \cos \alpha ds \quad (22)$$

$\Delta t$  уақыт мезетіндегі орташа жылдамдық:

$$\langle N \rangle = \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad (23)$$

Лездік қуат

$$N = \frac{dA}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v} = F_s v = F \cdot v \cdot \cos \alpha \quad (24)$$

$v$  жылдамдықпен қозғалатын массасы  $m$  дененің кинетикалық энергиясы:

$$T = \frac{mv^2}{2} \quad (25)$$

Өрістің берілген нүктесіндегі денеге әсер ететін күшпен дененің потенциалдық энергия арасындағы байланысы:

$$\vec{F} = -\text{grad}\Pi \text{ или, } \vec{F} = -\left(\frac{\partial \Pi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \Pi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \Pi}{\partial z} \vec{k}\right) \quad (26)$$

Дене бетінен  $h$  биіктікке көтерілген дененің потенциалдық энергиясы:

$$\Pi = mgh \quad (27)$$

Серпімді деформацияланған(созылған немесе созылған) серіппенің потенциалдық энергиясы.

$$\Pi = \frac{kx^2}{2} \quad (28)$$

Консервативті жүйенің механикалық энергияның сақталу заңы:

$$T + \Pi = E = \text{const} \quad (29)$$

Соққы (соқтығысу) – өзара әсерлесуі өте аз уақыт мерзімі ішінде жасалатын екі немесе бірнеше денелердің соқтығысуы.

Центрлік соққы – соқтығысудан кейін денелердің масса центрі арқылы өткен түзу бойымен денелер қозғалатын соққы.

Абсолют серпімді соқтығысу – екі өзара әсерлесетін денелердің екеуінде де ешқандай деформациялары қалмаса және барлық кинетикалық энергиясы соқтығысудан кейін тағы да кинетикалық энергияға айналатын соқтығысу.

Импульстің сақталу заңы және механикалық энергияның сақталу заңы орындалады.

Массалары  $m_1, m_2$  шарлардың соқтығысуға дейінгі жылдамдықтарын  $\vec{v}_1, \vec{v}_2$  деп белгілейік, соқтығысудан кейін  $v_1', v_2'$  арқылы. Сонда тура центрлік соқтығысу кезінде :  $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$  импульстің сақталу заңы, және механикалық (кинетикалық) энергияның сақталу заңдарын жазып алуға болады

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2} \quad (30)$$

Осыдан  $v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \vec{v}_1 + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} \vec{v}_2$ ,  $v_2' = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \vec{v}_2 + \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \vec{v}_1$  екі шардың

соқтығысудан кейінгі жылдамдықтарын анықтау формулаалры шығады.

Абсолют серпімсіз соқтығысу-соқтығысудан кейін екі дене бір дене ретінде қозғалады. Осы соқтығысу үшін импульстің сақталу заңы

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}, \quad \vec{v} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2} \quad (31)$$

егер денелердің массалары бірдей болса  $m_1 = m_2$  : , онда  $\vec{v} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2}$ .

Механикалық энергияның сақталу заңы орындалмайды; денелердің деформациялану нәтижесінде кинетикалық энергияның бір бөлігі денелердің ішкі энергиясына айналып кетеді (қыздыруға): Энергия азаюы:

$$\Delta T = Q = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_1 - v_2)^2 \quad (32)$$

Егер бірінші дене соқтығысуға дейін тыныштық қалпында болса,  $v_2 = 0$ , онда  $v = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}$ .  $\Delta K = Q = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \frac{m_1 v_1^2}{2}$  (33)

## 1.4. Қатты дене механикасы.

Материалдық нүктенің инерция моменті

$$J = mr^2 \quad (34)$$

мұндағы  $m$  - нүкте массасы,  
 $r$  - айналу осіне дейінгі қашықтық.  
 Жүйенің(дененің) инерция моменті

$$J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \quad (35)$$

мұндағы  $r_i$  - массасы  $m_i$  (массаның үздіксіз таралуы кезінде) материалдық нүктенің айналу осіне дейінгі қашықтығы:

$$J = \int r^2 dm \quad (36)$$

Геометриялық пішіндері дұрыс денелердің инерция моменттері 4 кестеде келтірілген(денелерді бертекті деп есептейміз,  $m$  - дене массасы)

Кесте 4 геометриялық пішінді дұрыс қатты денелердің инерция моменттері

| Дене                                  | Айналу осінің қалпы                                     | Инерция моменті            |
|---------------------------------------|---|----------------------------|
| $R$ қуыс жұқа қабырғалы цилиндр       | Симметрия осіне қатысты                                 | $mR^2$                     |
| радиусы $R$ тұтас цилиндр немесе диск | Симметрия осіне қатысты                                 | $\frac{1}{2}mR^2$          |
| ұзындығы $l$ түзу жұқа білік          | Ось білікке перпендикуляр және оның центрі арқылы өтеді | $\frac{1}{12}ml^2$         |
| ұзындығы $l$ түзу жұқа білік          | Ось білікке перпендикуляр және ұшынан өтеді             | $\frac{1}{3}ml^2$          |
| шар                                   | Шардың центрі арқылы өтеді                              | $\frac{2}{5}mR^2$          |
| параллелепипед                        | Ауырлық центрі арқылы. Ең ұзын қабырғасы қатысты        | $\frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$ |

Штейнер теоремасы

$$J = J_c + ma^2 \quad (37)$$

мұндағы  $J_C$  -масса центрі арқылы өтетін ось қатысты дененің инерция моменті,

$J$  - осы оське параллель одан  $a$  қашықтықтағы ось қатысты инерция моменті,

$m$  - дене массасы.

Қозғалмайтын  $z$  ось қатысты айналыстағы дененің кинетикалық энергиясы:  $T_{\text{кр.}} = \frac{J_z \omega^2}{2}$ , мұндағы  $J_z$  -  $z$  ось қатысты дененің инерция моменті,  $\omega$  - оның бұрыштық жылдамдығы.

Сырғанаусыз жазықтық бойымен домалап келе жатқан дененің кинетикалық энергиясы:

$$T = \frac{1}{2} m v_C^2 + \frac{1}{2} J_C \omega^2 \quad (38)$$

мұндағы  $m$  - дене массасы,

$v_C$  -масса центрінің жылдамдығы,

$J_C$  - масса центрі арқылы өтетін ось қатысты дененің инерция моменті,

$\omega$  - оның бұрыштық жылдамдығы

Қозғалмайтын нүкте қатысты күш моменті.

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (39)$$

мұндағы  $\vec{r}$  - нүктеден  $\vec{F}$  күш түсірілген нүктеге дейін жүргізілген радиус-вектор.

Күш моментінің модулі

$$M = Fl \quad (40)$$

мұндағы  $l$  -күш иіні (күш әсер ететін әрекет сызықтан ойнылу осіне дейінгі ара қашықтық.

Айналыс жасағалғандағы жұмыс

$$dA = M_z d\varphi \quad (41)$$

мұндағы  $d\varphi$  -дененің айналу бұрышы,

$M_z$  -  $z$  осіне қатысты дененің күш моменті(айналдырушы күш моменті).

Айналу осіне қатысты дененің импульс моменті (қозғалыс мөлшерінің моменті)

$$L_z = \sum_{i=1}^n m_i v_i r_i = J_z \omega \quad (42)$$



мұндағы  $r_i$  -  $z$  осьтен дененің жеке нүктесіне дейінгі ара қашықтық,  
 $m_i v_i$  - осы бөлшектің импульсі,  
 $J_z$  -  $z$  осіне қатысты дененің инерция моменті,  
 $\omega$  - бұрыштық жылдамдығы  
 Қатты дененің айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі теңдеуі(заңы).

$$\vec{M} = \frac{I d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d\vec{L}}{dt} = I\vec{\varepsilon}; M_z = J_z \frac{d\omega}{dt} = J_z \varepsilon \quad (43)$$

мұндағы  $\varepsilon$  - бұрыштық үдеу,  
 $J_z$  -  $z$  осіне қатысты дененің инерция моменті,

немесе  $\vec{M} = \frac{I\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{L}}{\Delta t}$  осы түрге келтіріп де жазуға болады

Тұйықталған жүйе үшін Импульс моментінің сақталу заңы (қозғалыс мөлшері моментінің)  $\vec{L} = const$ , немесе  $I_1\vec{\omega}_1 + I_2\vec{\omega}_2 = I_2\vec{\omega}_1 + I_2\vec{\omega}_2$ , немесе  $\sum_i I_i\vec{\omega}_i = const$  немесе  $\vec{L}_1 + \vec{L}_2 = \vec{L}_1 + \vec{L}_2$

Дененің серпімді деформацияланғандағы механикалық кернеуі  $\sigma = \frac{F}{S}$ , мұндағы  $F$  - созушы (сығылушы) күш,  $S$  - дененің көлденең қимасының ауданы.

Салыстырмалы бойлық созылу (сығылу)  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ , мұндағы,  $\Delta l$  - созылу(сығылу) кезіндегі дене ұзындығының өзгерісі,  $l$  - деформация бойынша дене ұзындығы.

Салыстырмалы бойлық сығылу (созылу)  $\varepsilon' = \frac{\Delta d}{d}$ , мұндағы  $\Delta d$  - біліктің созылу кезіндегі диаметр өзгерісі (сығылу),  $d$  - білік диаметрі.

Салыстырмалы бойлық сығылу(созылу) мен  $\varepsilon'$  және бойлық созылу (сығылу) арасындағы байланыс  $\varepsilon \cdot \varepsilon' = \mu\varepsilon$ , мұндағы  $\mu$  - Пуассон коэффициенті.

Бойлық созылу(сығылу) үшін Гук заңы  $\sigma = E\varepsilon$ , мұндағы  $E$  - Юнг модулі.

Серпімді созылған(сығылған) дененің потенциалдық энергиясы.

$$W = \int_0^{\Delta l} F dx = \frac{1}{2} \frac{ES}{l} \Delta l^2 = \frac{E\varepsilon^2}{2} V \quad (44)$$

мұндағы  $V$  - дене көлемі.

## 1.5. Тартылыс. Өріс теория элементтері.

Кеплердің үшінші заңы.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3} \quad (45)$$

мұндағы  $T_1$  және  $T_2$  - Күннің айналасында планетаның айналу периоды,  $R_1, R_2$  - планета орбитаның үлкен жартылай осьтері.

Бүкіл әлемдік тартылыс заңы

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (46)$$

мұндағы  $F$  – массалары  $m_1, m_2$  екі материалдық нүктелер арасындағы бүкіл әлемдік тартылыс күші (гравитациялық күш),

$r$  - нүктелер арасындағы қашықтық,

$G = 6,6731 \cdot 10^{-11} \frac{H \cdot M^2}{K^2}$  - гравитациялық тұрақтысы.

Ауырлық күші  $\vec{F} = m\vec{g}$ , мұндағы  $m$  - дене массасы,  $g$  - еркін түсу үдеуі

Тартылыс өрістің кернеулігі.  $\vec{E} = \vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$ ,

мұндағы  $F$  - берілген өріс нүктесіне орналастырылған массасы  $m$  материалдық нүктеге әсер ететін тартылыс күші.

Дене салмағы  $\vec{P} = m\vec{g} - \vec{a}$

Массалары  $m_1, m_2$  бір – бірінен  $r$  қашықтықта орналасқан екі материалдық нүктенің өзара әсерлесудің гравитациялық энергиясы,

$$\Pi = -\frac{Gm_1 m_2}{r} \quad (47)$$

Тартылыс өрістің потенциалы  $\varphi = \frac{\Pi}{m}$ , мұндағы  $\Pi$  - массалары  $m$  материалдық нүктелердің потенциалдық энергиялары.

Тартылыс күш потенциалы мен оның кернеулігі арасындағы байланыс

$$\vec{g} = -grad\varphi \quad (48)$$

немесе

$$\vec{g} = -\left( \frac{\partial\varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z} \vec{k} \right) \quad (49)$$

мұндағы  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  - координаталық осьтерінің бірлік векторлары.

Бірінші ғарыштық жылдамдық— Жер айналысында дөңгелек орбита бойымен айнала алатын қажетті минимал жылдамдығы  $v_1 = \sqrt{gR_0} \approx 7,9 \text{ км/с}$

Екінші ғарыштық жылдамдығы—Жер тартылыс жеңіп Күн серігі бола алатын денеге берілетін ең кіші жылдамдығы.  $v_2 = \sqrt{2gR_0} \approx 11,2 \text{ км/с}$ .

Үшінші ғарыштық жылдамдық— Жер бетінде денеге ол Күн жүйе шектерін тастап алатынына қажетті жылдамдық.  $\vec{v} = 16,7 \text{ км/м}$ .

Инерциалды емес санақ жүйелер үшін динамиканың негізгі заңы.  $m\vec{a}' = m\vec{a} + \vec{F}_{ин.}$ , мұндағы  $\vec{a}$  және  $\vec{a}'$  - инерциалды және инерциалды емес санақ жүйелеріндегі сейкес үдеулері,  $\vec{F}_{ин.}$  - инерция күші.

Инерция күштері:  $\vec{F}_{ин.} = \vec{F}_u + \vec{F}_ц + \vec{F}_к$ , мұндағы  $\vec{F}_u$  - санақ жүйесінің  $a_0$  үдеуімен ілгерілемелі қозғалыс кезіндегі инерция күші:

$$\vec{F}_u = -ma_0 \quad (50)$$

$\vec{F}_ц$  - инерцияның центрге тартқыш күштері (айналу осьтерінен шекті  $R$  қашықтыққа алыстатылған айналыстағы жүйенің денеге әсер ететін инерция күштері:

$$\vec{F}_ц = -m\omega^2 R \quad (51)$$

$\vec{F}_к$  - кориолисті инерция күші (айналыстағы санақ жүйесінде  $v'$  жылдамдықпен қозғалатын денеге әсер ететін инерция күштері:

$$\vec{F}_к = 2m \left[ \vec{v}', \vec{\omega} \right] \quad (52)$$

## 1.6. Сұйықтар механикасының элементтері.

$h$  тереңдікте сұйық бағананың гидростатикалық қысымы:  $p = \rho gh$ , мұндағы  $\rho$  - сұйық тығыздығы.

Архимед заңы:  $F_A = \rho g V$ , мұндағы  $F_A$  - кері итеруші күш,  $V$  - ығыстырылған сұйық көлемі.

Үздіксіздік теңдеуі  $Sv = const$ , мұндағы  $S$  - ағыс түтігінің көлденең қимасының ауданы.  $v$  - сұйық жылдамдығы.

Сығылмайтын сұйық стационарлы ағыс үшін Бернулли теңдеуі

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = const \quad (53)$$

мұндағы  $p$  - кез келген құбырдың қимасы үшін статикалық қысымы.

$v$  - осы қима үшін сұйықтың қозғалыс жылдамдығы.

$\frac{\rho v^2}{2}$  - осы қимаға сәйкес келетін сұйықтың динамикалық қысымы.

$h$  - қимасы орналасқан биіктігі.

$\rho gh$  - гидростатикалық қысым,

Горизонталь ағыс түтігі үшін (нақта құбыр) үшін Бернулли теңдеуі

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = const \quad (54)$$

Торричелли формуласы, кең ашық ыдыстың тесігінен сұйықтың ағу жылдамдығын анықтауға мүмкіндік береді.  $v = \sqrt{2gh}$ , мұндағы  $h$  - ыдыстағы сұйық деңгейіне қатысты тесіктің орналасу тереңдігі.

Ағып өтетін сұйық қабаттарының арасындағы ішкі үйкеліс күші:

$$F = \eta \left| \frac{\Delta v}{\Delta x} \right| S \quad (55)$$

мұндағы  $\eta$  - сұйықтың динамикалық тұтқырлығы,

$\left| \frac{\Delta v}{\Delta x} \right|$  - жылдамдық градиенті,

$S$  - түйісетін сұйық қабаттарының ауданы.

Сұйық сипатын анықтайтын Рейнольдс саны  $Re = \frac{\rho \langle v \rangle d}{\eta}$ , мұндағы  $\rho$  - сұйық тығыздығы,  $\langle v \rangle$  - құбырдың қимасы бойынша сұйықтың орташа жылдамдығы.  $d$  - сипатты сызықтық өлшемі, мысалы - құбыр диаметрі.

Стокс формуласы, тұтқыр сұйықтың баяу қозғалатын шарикке әсер ететін кедергі күшін табуға мүмкіндік береді. Стокс формуласы бойынша шар тәрізді денеге тұтқыр сұйық жағынан әсер ететін кедергі күші сұйықтың тұтқырлық

коэффициентіне, шариктің радиусына және сұйық ішіндегі қозғалыс жылдамдығына тура пропорционал:

$$F = 6\pi\eta rv \quad (56)$$

мұндағы  $r$  - шарик радиусы,  $v$  -оның жылдамдығы.

Пуазейль Формуласы, ұзындығы  $l$  капиллярлы түтік арқылы  $t$  уақыт ішінде ағып өтетін ұйық көлемін анықтай алатын формула.  $V = \pi R^4 \frac{\Delta p t}{8\eta l}$ , мұндағы  $R$  - түтік(құбыр)радиусы,  $\Delta p$  - түтік (құбыр) ұштарында қысым айырымы.

Сұйықтар мен газда қатты денелердің қозғалысы кезінде

Маңдайлық (Лобовое) кедергі  $R_x = C_x \frac{\rho v^2}{2} S$ , мұндағы  $C_x$  -кедергі коэффициенті (өлшемсіз).  $\rho$  - ортаның тығыздығы,  $v$  -дененің қозғалыс жылдамдығы,  $S$  - дененің ең үлкен қима ауданы.

Көтергіш күші  $R_y = C_y \frac{\rho v^2}{2} S$ , мұндағы  $C_y$  - көтергіш күш коэффициенті(өлшемсіз)

Жалпыланған Бернулли теңдеуінде (53) және (54) түріндегі теңдеулер сақтала отырып, олардың сол жағына үйкеліс күшінің жұмысы мен гидравликалық кедергіге жұмсалатын жұмыс, сондай-ақ, сұйықтықтың не газдың механикалық жұмысы (компрессордың не турбинаның жұмысы) өз таңбасымен қосылады. Жалпыланған Бернулли теңдеуі гидравликада, машина жасауда, т.б. кеңінен қолданылады

## 1.7 Арнайы салыстырмалылық теориясы

Лоренц түрлендіруі

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, y' = y, z' = z, t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (57)$$

мұндағы  $K'$  санақ жүйесі  $K$  санақ жүйесінің  $x$  осінің оң бағытымен  $v$  жылдамдықпен қозғалатын деп ұйғарылған, демек  $x$  және  $x'$  осьтері дәл келіп тұр, ал  $y'$  және  $y$ ,  $z'$  және  $z$  параллель,

$c = 3 \cdot 10^8$  м/с - вакуумдегі жарықтың таралу жылдамдығы.

Сағат жүрісінің релятивистік уақыт баяулауы

$$\tau' = \frac{\tau}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (58)$$

мұндағы  $\tau$  - қозғалыстағы денемен бірге қозғалатын сағатпен есептелген екі оқиға арасындағы уақыт аралығы,

$\tau'$  - тыныштықтағы сағат пен екі оқиға арасындағы уақыт аралығы.

Релятивистік (лоренцтік) ұзындық қысқартылуы

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (59)$$

мұндағы  $l_0$  - санақ жүйе қатысты тыныштық қалпынада тұратын білік ұзындығы. (меншікті ұзындық),

$l$  - санақ жүйесіне қатысты  $v$  жылдамдықпен қозғалатын біліктің ұзындығы.

Жылдамдықтардың релятивистік қосу заңы.

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - vu_x/c^2}, u'_y = \frac{u_y \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 - vu_x/c^2}, u'_z = \frac{u_z \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 - vu_x/c^2},$$

$K'$  санақ жүйесі  $K$  санақ жүйесінің  $x$  осінің оң бағытымен  $v$  жылдамдықпен қозғалатын деп ұйғарылған, демек  $x$  және  $x'$  осьтері дәл келіп тұр, ал  $y'$  және  $y$ ,  $z'$  және  $z$  параллель,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с - вакуумдегі жарықтың таралу жылдамдығы.

Оқиғалар арасындағы интервал  $s_{12}$  (инварианттық шама):  $s_{12}^2 = c^2 t_{12}^2 - l_{12}^2 = inv$ , мұндағы  $t_{12}$  - 1 және 2 оқиға арасындағы уақыт аралығы,  $l_{12}$  - орын тапқан оқиғалар нүктелер арасындағы қашықтық.

$$\text{Релятивистік масса } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$\text{Релятивистік импульс } \vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \text{ мұндағы } m_0 \text{ - бөлшектің тыныштық}$$

массасы

Релятивистік динамиканың негізгі заңы:  $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ , мұндағы  $\vec{p}$  - бөлшектің релятивистік импульсі.

Релятивистік бөлшектің толық энергиясы:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = m_0 c^2 + T \quad (60)$$

Релятивистік бөлшектің кинетикалық энергиясы:  $T = E - E_0$ ,

мұндағы  $E_0 = m_0 c^2$  - бөлшектің тыныштық энергиясы.

Релятивистік бөлшектің импульсі мен толық энергия арасындағы байланысы:  $E^2 - p^2 c^2 = m_0^2 c^4$

Релятивистік бөлшектің импульсімен кинетикалық арасындағы байланысы:  $p^2 c^2 = T^2 + 2m_0 c^2 T$

## 2 Молекулалық физика және термодинамика

### 2.1 Молекула-кинетикалық теория

Идеал газдың молекула-кинетикалық теориясы.

Молекулалық физика – молекула-кинетикалық көзқарасынан барлық заттар молекулалардан (атомдардан) тұрады және олар ретсіз үздіксіз қозғалыста болатын, заттардың қасиеттерімен сипаттамаларын қарастырып оқитын физика бөлімі.

Температура-макроскопиялық күйдің термодинамикалық тепе-теңдігін сипаттайтын және денелер арасында жылуалмасуын қаарстыратын физикалық.

Термодинамикалық температуралық шкала (Кельвин шкаласы)–Кельвин градусында градуирленген, судың үштік нүктесімен-яғни мұз, су, және қаныққан бу 609Па қысымда термодинамикалық тепе теңдіктегі реперлік нүктелер арқылы анықталған. Осы нүктенің температурасы 273,15 К, температура  $T = 0$  К Кельвин нолі деп аталады.

Термодинамикалық температура  $T$  және Халықаралық тәжірибелік шкала  $t$  (Цельсий шкаласы бойынша) мына түрде байланысқан:  $T = 273,15 + t$ .

Қалыпты жағдайлар :  $T_0 = 273,15 \text{ K} = 0^\circ \text{C}$  ,  $p_0 = 101325 \text{ Па}$  .

Идеал газ – газ молекулалардың меншікті көлемі ыдыс көлемімен салыстырғанда ескерілмейтін физикалық модель (нысан),

- газ молекулалардың өзараэсерлесуі болмайды

- молекулалардың бір-бірімен және ыдыс қабырғаларымен соқтығысулары абсолютті серпімді.

Бойль–Мариотт заңы:  $T = const$  -изотермиялық процесс,  $m = const$  кезінде

$$pV = const \quad (61)$$

$$p_1V_1 = p_2V_2$$

Зат мөлшері- $\nu$ -зат тұратын молекулалар, атомдар, иондар –құрылымдық спецификалық санымен анықталатын физикалық шама. Өлшем бірлігі моль.

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} \quad (62)$$

Авогадро саны– заттың бір моль-індегі молекулалар саны:

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$$

Авогадро заңы: қандай да болсын газдардың бірдей температурамен қысымда мольдері бірдей көлем алып тұрады. Қалыпты жағдайда молярлық

көлем тең болады:  $V_\mu = 22,41 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$  .



Молярлық масса –заттың бір молінің массасы:  $\mu = \frac{m}{\nu}$ , осыдан  $\nu = \frac{m}{\mu}$   
 (молярлық массаның өлшем бірлігі – килограмм /моль (кг/моль).  
 Салыстырмалы атомдық масса арқылы  $M = M_r \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

Қоспаның молярлық массасы:  $\mu_{см} = \sum_{i=1}^k m_i / \sum_{i=1}^k \nu_i$ , мұндағы  $m_i$  -  $i$  -ші компонентінің массасы,  $\nu_i$  -  $i$  - ші компонентінің зат мөлшері,  $k$  –қоспа компоненттері саны

газ қоспасының  $i$  ші компонентасының Массалық бөлігі (компонента массасының қоспа массасына қатынасына тең өлшемсіз шама)  $\varpi_i = m_i / m$ , мұндағы  $m_i$  - газ қоспасындағы  $i$  - ші компонентінің массасы,  $m$  - қоспа массасы.

Парциал қысым – Парциал қысым деп газ қоспасының әрбір газы осы көлемді жалғыз өзі алатын кездегі қысымды атайды.

Дальтон заңы: идеал газ қоспасының қысымы парциал қысымдары  $p_1, p_2, \dots, p_n$  қосындысына тең:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n \quad (63)$$

$$\text{немесе } p = \sum_i p_i \quad (64)$$

Гей –Люссак заңы.

тұрақты көлемдегі  $V = const$  (изохоралық) массасы  $m$  газдың қысымы  $p$ ,  $t$  -температураға тура пропорционал өзгеріп отырады:

$$p = p_0 (1 + \alpha t) \quad (65)$$

$$m = const \text{ немесе } \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Тұрақты қысымдағы  $p = const$  (изобаралық) массасы  $m$  ( $m = const$ ) көлемі  $t$  температураға тура пропорционал өзгереді:

$$V = V_0 (1 + \alpha t) \quad (66)$$

температуралардың термодинамикалық шкаласында

$$p = const, m = const \text{ кезінде } \frac{V}{T} = const,$$

$$V = const, m = const \text{ кезінде } \frac{P}{T} = const, \text{ (Шарль заңы)}$$

$$\text{Идеал газдың күй теңдеуі } \frac{pV}{T} = const$$

Идеал газ бір молі үшін идеал газдың күй теңдеуі:  $pV_\mu = RT$ , мұндағы  $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$

Массасы  $m$  идеал газ үшін Менделеев – Клайперон күй теңдеуі:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \quad (67)$$

немесе  $pV = \nu RT$ , мұндағы  $\nu$  - зат мөлшері.

Больцман тұрақтысы:  $k = \frac{R}{N_a} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$

Күй теңдеуі:  $p = nkT$ , мұндағы  $n = \frac{N}{V} = \frac{N_a}{V_\mu}$  - молекулалар концентрациясы

(бірлік көлемдегі молекулалар саны).

Лосмидт саны–  $1\text{ м}^3$  көлемдегі молекулалар саны:  $N = \frac{p_0}{kT_0} = 2,68 \cdot 10^{25} \frac{1}{\text{м}^3}$

Идеал газдың молекула-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуі

$$p = \frac{1}{3} nm_0 \langle v_{\text{кв}} \rangle^2 \quad (68)$$

мұндағы  $m_0$  - молекула массасы,  $n$  - молекулалар концентрациясы

Молекула-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуінің басқа жазу түрлері :

$$pV = \frac{1}{3} Nm_0 \langle v_{\text{кв}} \rangle^2 \quad (69)$$

мұндағы  $N$  - молекулалар саны

$pV = \frac{2}{3} E$ , мұндағы  $E$  - газдың барлық молекулаларының ілгерілемелі

қозғалысының қосынды кинетикалық энергиясы.

$pV = \frac{1}{3} m \langle v_{\text{кв}} \rangle^2$  немесе мольдік көлем үшін  $pV_\mu = \frac{1}{3} \mu \langle v_{\text{кв}} \rangle^2$

идеал газ молекулалардың орташа квадраттық жылдамдығы:

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \quad (70)$$

Идеал газдың молекуласының ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы:

$$\langle \varepsilon_0 \rangle = \frac{m_0 \langle v_{\text{кв}} \rangle^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (71)$$

Температураның молекула-кинетикалық түсініктемесі:  
термодинамикалық температура газ молекулаларының ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергияның өлшеуіші.

Молекулалардың жылдамдық бойынша үйлестірілу функциясы  $f(v)$ - жылдамдықтар интервалдағы  $v$  ден  $v+dv$  -ге дейін молекулалар санын анықтайды.

идеал газ молекулаларының жылдамдықтар бойынша таралуы туралы Максвелл заңы

$$f(v) = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} v^2 \exp\left( -\frac{m_0 v^2}{2kT} \right) \quad (72)$$

Нормалану шарты  $\int_0^{\infty} f(v) dv = 1$ .

идеал газдың ең ықтимал жылдамдығы –бұл идеал газ молекулаларының жылдамдықтар бойынша таралу функциясы максимал болғандағы жылдамдық.

$$v_g = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$$

Орташа арифметикалық жылдамдық:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} \quad (73)$$

Кесте 5 Газ күйін сипаттайтын жылдамдықтар:

| Ең ықтимал жылдамдық $v_g$     | Орташа арифметикалық $\langle v \rangle$                   | Орташа квадраттық $\langle v_{кв} \rangle$                  |
|--------------------------------|--|---|
| $v_g = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$ | $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} = 1,13v_g$ | $\langle v_{кв} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = 1,22v_g$ |

Орташа кинетикалық энергия

- молекуланың бір еркіндік дәрежесіне сәйкес келетін:  $\langle \varepsilon_1 \rangle = \frac{1}{2} kT$

- молекуланың барлық еркіндік дәреже санына келетін (молекуланың толық энергиясы)  $\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT$

- ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы  $\langle \varepsilon_i \rangle = \frac{3}{2} kT$

- айналмалы қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы  $\langle \varepsilon_{айн} \rangle = \frac{i-3}{2} kT$

- тербелімелі қозғалысының орташа энергиясы  $\langle \varepsilon_{терб.} \rangle = kT$

Еркіндік дәреже саны дегеніміз:  $i$ – кеңістікте жүйенің орнын анықтай алатын тәуелсіз координаталар саны.

6 кестеде молекулалардың еркіндік дәреже кестелері келтірілген

Кесте 6 Идеал газ молекулаларының еркіндік дәреже саны

| $i$          | Бір атомды газ | Екі атомды газ | Үш және көп атомды газ |
|--------------|----------------|----------------|------------------------|
| ілгерілемелі | 3              | 3              | 3                      |
| айналмалы    | -              | 2              | 3                      |
| жалпы        | 3              | 5              | 6                      |

Барометрлік формула

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right) \quad (74)$$

немесе

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right) \quad (75)$$

мұндағы  $p$  - газ қысымы,

$m$  - бөлшек массасы,

$\mu$  - молярлық масса,

$h$  - нольге тең деп алынатын деңгейге қатысты нүкте биіктігі.

$p_0$  - осы деңгейдегі қысым,

$g$  - еркін түсу үдеуі,

$R$  - универсал газ тұрақтысы.

Больцман таралуы (потенциалдық энергиялар бойынша бөлшектердің таратуы) сыртқы потенциал өрісі үшін.

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{m_0 gh}{kT}\right) \quad (76)$$

немесе

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{U}{kT}\right) \quad (77)$$

мұндағы  $n$  - өріс нүктелеріндегі бөлшектер концентрациясы,

$U$  - олардың потенциалдық энергиясы,

$n_0$  - өріс нүктелеріндегі бөлшектер концентрациясы,

мұндағы  $k$  - Больцман тұрақтысы,

$T$  - термодинамикалық температура.

Максвеллдің үйлестірілуі (молекулалардың жылдамдықтар бойынша таралуы) екі сәйкестікпен өрнектеледі:

$v$  ден  $v + dv$  дейінгі интервалдағы:

$$dN(v) = N \cdot f(v)dv = \frac{4}{\sqrt{\pi}} N \cdot \left(\frac{m}{2kT}\right)^{3/2} e^{-mv^2/2kT} v^2 dv \quad (78)$$

мұндағы  $f(v)$  - жылдамдық модульдері бойынша молекулалардың таралу функциясы, молекулалар жылдамдықтары  $v$  ден  $v+dv$  ге дейінгі интервалдағы жатқан молекулалардың осы интервалға қатынасын өрнектейтін ықтималдық,  $N$  - молекулалардың жалпы саны,  $m$  - молекулалар массасы.

Салыстырмалы жылдамдықтары  $u$  ден  $u+du$ -ға дейінгі интервалдын шектерінде жатқан молекулалар саны:

$$dN(u) = N \cdot f(u)du = \frac{4}{\sqrt{\pi}} N e^{-u^2} u^2 du \quad (79)$$

мұндағы  $u = \frac{v}{v_0}$  - салыстырмалы жылдамдығы,

$v_0$  жылдамдықтың ең ықтимал жылдамдығына  $v_0$  қатынасы,

$f(u)$  - салыстырмалы жылдамдықтар бойынша молекулалардың таралу функциясы.

Молекулалардың импульстері бойынша таралуы: импульстері  $p$  ден  $p+dp$  шектерінде тұйықталған молекулалар саны:

$dN(p) = N f(p) dp = \frac{4}{\sqrt{\pi}} N \left(\frac{1}{2mkT}\right)^{3/2} e^{-p^2/2mkT} p^2 dp$ , мұндағы  $f(p)$  - импульстері бойынша таралу функциясы.

Ілгерілемелі қозғалыстың кинетикалық энергиясы бойынша молекулалардың таралуы:  $\varepsilon$  ден  $\varepsilon+d\varepsilon$ -ге дейінгі интервалдағы тұйықталған молекулалар саны:

$$dN(\varepsilon) = N f(\varepsilon) d\varepsilon = \frac{4}{\sqrt{\pi}} N \frac{e^{-\varepsilon/kT}}{(kT)^{3/2}} \varepsilon^{1/2} d\varepsilon \quad (80)$$

мұндағы  $f(\varepsilon)$  - кинетикалық энергиялары бойынша энергия таралуы.

соққылардың орташа саны, бірлік уақыт ішінде бір газ молекуланың соқтығысуы

$$\langle z \rangle = \sqrt{2\pi} d^2 n \langle v \rangle \quad (81)$$

мұндағы  $d$  - молекуланың эффективті диаметрі,

$n$  - молекулалар концентрациясы,

$\langle v \rangle$  - молекуланың орташа арифметикалық жылдамдығы.

газ молекуланың орташа еркіндік жол айырымы

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}} \quad (82)$$

Термодинамикалық тепе-тең емес жүйелерінде импульстің (ішкі үйкеліс), энергияның (жылу өткізгіштік), массаның (диффузия) кеңістіктік тасымалдану жасалатын қайтымсыз процестер- тасымалдау құбылыстары деп аталады, немесе молекулалардың хаосты терсіз жылулық қозғалысы кезінде молекулалардың өз сипаттамаларын тасымалдауы.

бет элементі арқылы газдың (сұйық) бір қабатынан басқа қабатына молекулаларының тасымалданатын Импульсі (қозғалыс мөлшері):

$$dp = \eta \frac{dv}{dz} \Delta S dt$$

мұндағы  $\eta$  - газдың (сұйықтың) динамикалық тұтқырлығы,

$\frac{dv}{dz}$  - газ қабаттарының (көлденең) жылдамдық градиенті,

$\Delta S$  - бет элементінің ауданы,

$dt$  - тасымалдау уақыты.

Осы кезде қабаттар арасында ішкі үйкеліс күші пайда болады, оны тұтқыр сұйықтар үшін Ньютон формуласымен анықтайды  $F = \frac{dp}{dt} = \eta \frac{dv}{dz} \Delta S$

Динамикалық тұтқырлық:

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \langle l \rangle \quad (83)$$

мұндағы  $\rho$  - газ (сұйық) тығыздығы,

$\langle v \rangle$  - молекулалардың ретсіз қозғалысының орташа жылдамдығы,

$\langle l \rangle$  - олардың орташа еркін жол ұзындығы

Фурье заңы (жылу өткізгіштік)

$$\Delta Q = -\lambda \frac{dT}{dx} S \Delta t \quad (84)$$

мұндағы  $\Delta Q$  - жылу өткізгіштік жолымен  $S$  қима арқылы  $\Delta t$  уақыт ішінде өткен жылу мөлшері,

$\lambda$  - жылу өткізгіштік коэффициенті,

$\frac{dT}{dx}$  - температура градиенті

Жылу өткізгіштік коэффициенті (газ үшін):

$$\lambda = \frac{1}{3} c_v \rho \langle v \rangle \langle l \rangle \quad (85)$$

$$\text{немесе } \lambda = \frac{1}{6} kn \langle v \rangle \langle l \rangle,$$

мұндағы  $c_v$  - тұрақты көлемдегі газдың меншікті жылу сыйымдылығы,  $\rho$  - газ тығыздығы,

$\langle v \rangle$  - газ молекулалардың орташа арифметикалық жылдамдығы,

$\langle l \rangle$  - молекулалардың орташа еркіндік жол айырымы

Фик заңы (диффузия):

$$\Delta m = -D \frac{dn}{dx} m_1 S \Delta t \quad (86)$$

мұндағы,  $\Delta m$  -  $S$  аудан арқылы  $\Delta t$  уақыт ішінде диффузия нәтижесінде тасымалданған газ массасы,

$D$  - диффузия коэффициенті,

$\frac{dn}{dx}$  - молекулалар концентрация градиенті,  $m_1$  - бір молекуланың массасы.

Немесе

$$\Delta m = -D \frac{d\rho}{dx} S \Delta t \quad (87)$$

мұндағы  $\frac{d\rho}{dx}$  - тығыздық градиенті

Диффузия коэффициенті:  $D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle$

$\lambda$ ,  $D$  және  $\eta$  арасындағы өзара байланыс формулалары:  $\eta = \rho D$ ,  $\frac{\lambda}{\eta c_v} = 1$

## 2.2 Термодинамика негіздері

Ішкі энергия  $U$  - жүйенің микробөлшектерінің(молекулалар, атомдар, электрондар, ядролар және т.б.) ретсіз(жылулық) қозғалыстың және осы бөлшектердің өзараәсерлесудің энергиясы.

Ішкі энергияға жүйенің бүтін ретінде кинетикалық энергиясы мен сыртқы өрістеріндегі жүйенің потенциалдық энергиясы да жатпайды.

Ішкі энергия – жүйенің термодинамикалық күйінің бірмағыналы функциясы – әр бір күйінде жүйе кейбір ішкі энергияға ие болады.

Еркіндік дәреже бойынша энергияның таралуы туралы Больцманның теоремасы: термодинамикалық тепе-теңдіктегі жүйе үшін әр бір ілгерілемелі және айналмалы еркіндік дәрежесіне орташа  $\frac{kT}{2}$  кинетикалық энергиясы сәйкес келеді, ал әр бір тербелімелі еркіндік дәрежесіне– орташадай  $kT$  ге тең энергия сәйкес келеді.

Молекуланың орташа энергиясы:  $\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT$

Идеал газдың бір моліне сәйкес келетін ішкі энергиясы:

$$U_{\mu} = \langle \varepsilon \rangle N_A = \frac{i}{2} k T N_A = \frac{i}{2} R T \quad (88)$$

Қандай да болсын массасы  $m$  газ үшін ішкі энергиясы:

$$U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} R T = \nu \frac{i}{2} R T \quad (89)$$

Термодинамиканың бірінші бастамасы – термодинамикалық процестері үшін энергияның сақталу және түрлену заңы

Термодинамиканың бірінші бастамасы(тұжырымдамасы): жүйеге берілген жылу мөлшері оның ішкі энергия өзгерісіне және сыртқы күштерге қарсы жасаған жұмысына жұмсалады:  $Q = \Delta U + A$ . немесе  $\Delta U = Q - A$

Термодинамиканың бірінші бастамасы(дифференциалды түрінде)  $\delta Q = dU + \delta A$ , мұндағы  $dU$  - жүйенің ішкі энергиясының шексіз аз өзгерісі,  $\delta A$  - элементарлық жұмыс,  $\delta Q$  - жылудың шексіз аз өзгерісі. Демек,

- егер жүйеге жылу келтірілген болса, онда  $\delta Q > 0$ , егер жүйеден жылу алынған болса, онда  $\delta Q < 0$

- егер жүйе сыртқы күштеріне қарсы жұмыс жасаса, онда  $\delta A > 0$ , егер сыртқы күштер жүйе үстінен жұмыс жасаса, онда  $\delta A < 0$ .

Заттың меншікті жылу сыйымдылығы  $c$  - заттың 1 кг массасын 1 К температураға қыздыру үшін жылу мөлшеріне тең шама  $c = \frac{Q}{m\Delta t}$ , немесе

$c = \frac{\delta Q}{m dT}$  өлшем бірлігі Дж/(кгК)



Молярлық жылу сыйымдылық  $C$  - заттың 1 мольін 1 К –ге дейін қыздыруға қажетті жылу мөлшеріне тең шамасы.  $C = \frac{\delta Q}{\nu dT}$ . Молярлық жылу сыйымдылықтың өлшем бірлігі Дж/(мольК)

Молярлық жылу сыйымдылық  $C$  және меншікті жылу сыйымдылық  $c$  арасындағы өзарабайланысы:  $C_m = c\mu$ , мұндағы  $\mu$  - газдық молярлық массасы.

Тұрақты көлемдегі молярлық жылу сыйымдылық:  $C_V = \frac{i}{2}R$

Тұрақты қысымдағы молярлық жылу сыйымдылық:  $C_p = \frac{i+2}{2}R$ , мұндағы  $i$  - еркіндік дәреже саны,  $R$  - молярлық газ тұрақтысы.

тұрақты көлем мен тұрақты қысымдағы меншікті жылу сыйымдылықтары:  $c_v = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{\mu}$  және  $c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{\mu}$

Майер теңдеуі:  $C_p - C_V = R$

Адиабата көрсеткіші:  $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ , немесе  $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ , немесе  $\gamma = \frac{i+2}{2}$  (Пуассон коэффициенті).

Идеал газдың ішкі энергиясы:  $U = N\langle \varepsilon \rangle$  немесе  $U = \nu C_V T$ , мұндағы  $\langle \varepsilon \rangle$  - молекулалардың орташа кинетикалық энергиясы,  $N$  - газ молекулалар саны,  $\nu$  - зат мөлшері.

Идеал газдың ішкі энергия өзгерісі:  $dU = \frac{m}{\mu} C_V dT$

газ көлемінің өзгерісі кезінде газдың жасалған жұмысы жылпы жағдайда:  $A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$  формуламен есептелінеді, мұндағы  $V_1$  - газдың бастапқы көлемі,  $V_2$  - газдың соңғы көлемі.

Дербес жағдайлары:

А) *изобаралық процесс кезінде* ( $p = const$ ):

$$A = p(V_2 - V_1) \quad (90)$$

немесе

$$A = \frac{m}{\mu} R (T_2 - T_1) \quad (91)$$

Б) *изотермиялық процесс кезінде* ( $T = const$ ):

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_1}{V_2} \text{ немесе } A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (92)$$

В) адиабаталық процесс кезінде (жүйемен сыртқы қоршаған орта арасында жылуалмасусыз өтетін процесс кезінде  $\delta Q = 0$ ):

$$A = \frac{m}{\mu} C_V (T_1 - T_2) \quad (93)$$

немесе

$$A = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \cdot \frac{m}{\mu} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right] = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right] \quad (94)$$

мұндағы  $T_1$  - газдың бастапқы температурасы,

$T_2$  - газдың соңғы температурасы.

Г) изохоралық процесс кезінде  $V = const$ :  $A = 0$ , өйткені газ ұлғаяды жоқ.

Пуассон теңдеуі (адиабаталық процесс кезіндегі газ күйінің теңдеуі):

$$pV^\gamma = const, \quad TV^{\gamma-1} = const, \quad T^\gamma p^{1-\gamma} = const, \quad \text{мұндағы } \gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i} \quad - \text{ адиабата}$$

көрсеткіші

адиабаталық процесс кезіндегі газ күйінің бастапқы және соңғы параметрлер арасындағы байланысы:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma, \quad \frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}, \quad \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (95)$$

## 2.3 Термодинамиканың бірінші бастамасы

Изобаралық процесс үшін:  $Q = \Delta U + A = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T + \frac{m}{\mu} R \Delta T = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T$ , немесе

$$Q = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T + \frac{m}{M} R \Delta T,$$

изохоралық процесс үшін: ( $A = 0$ ):  $Q = \Delta U = \frac{m}{M} C_v \Delta T$  немесе

$$Q = \Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T,$$

изотермиялық процесс үшін  $\Delta U = 0$ :  $Q = A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$  немесе

$$Q = A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2},$$

адиабаталық процесс:  $Q = 0$ :  $A = -\Delta U = -\frac{m}{M} C_v \Delta T$

Циклдің термиялық коэффициенті (ПӘК) жалпы түрде:  $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ ,

мұндағы  $Q_1$  - жұмыстық денемен (газбен) қыздырғыштан алынған жылу мөлшері,  $Q_2$  - жұмыстық денемен салқындатқышқа берілген жылу мөлшері.

Карно циклдің ПӘКі

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \text{ немесе } \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (96)$$

мұндағы  $T_1$  - қыздырғыштың температурасы,

$T_2$  - суытқыштың температурасы

Энтропия – бұл (гр. *entropia* – бұрылыс, айналу) – тұйық термодинамикалық жүйедегі өздігінен жүретін процестің өту бағытын сипаттайтын күй функциясы. Энтропияның күй функциясы екендігі термодинамиканың екінші бастамасында тұжырымдалады. Энтропия ұғымын термодинамикаға 1865 ж. Р.Клаузиус енгізген. Энтропия – термодинамикалық тепе-теңдік күйдегі макроскопиялық денелерге тән қасиет.

Энтропия өзгерісі.  $\Delta S = \int_A^B \frac{dQ}{T}$ . Қандай да тұйық жол үшін, математикалық қажетті және жеткілікті шарт, ол:  $ds = dq/T$  толық дифференциал болады. 1-2 еркінше алынған жол бойындағы интеграл, әр уақытта тең:  $S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$ . Шарт бойынша, жылулықты  $dQ$  жеткізу процесі қайтымды деп есептеледі. Сонымен,  $S$  - функция жағдайы. Оны *энтропия* деп атайды.

Энтропияның өзгерісі әр бір изопроцесс үшін әр түрлі өзгертіндігі 7 кестеде келтірілген.

## Кесте 7 Изопроцестердегі энтропия өзгерісі

| изохоралық $V = const$                           | Изобар-қ<br>$P = const$                          | Изотер-иялық<br>$T = const$                    | Адиабаталық<br>( $S = const$ ) |
|--|--|--|--------------------------------|
| $\Delta S = \frac{m}{M} C_v \ln \frac{T_2}{T_1}$ | $\Delta S = \frac{m}{M} C_p \ln \frac{V_2}{V_1}$ | $\Delta S = \frac{m}{M} R \ln \frac{V_2}{V_1}$ | $\Delta S = 0$                 |

Больцман формуласы  $S = k \ln W$ , мұндағы  $S$  - жүйе энтропиясы,  $W$  - сол күйдің термодинамикалық ықтималдығы,  $k$  -  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К Больцман тұрақтысы.

Ішкі энергия жүйенің күй функциясы болып табылады. Оның өзгерісі тек бастапқы және соңғы күйлеріне байланысты және бір күйден екінші күйге өту тәсіліне тәуелсіз.

Жылу мен жұмыс күйлерге ғана тәуелді болып қалмайды, сондай-ақ процестің түріне байланысты болады; олар процестің функциялары болып табылады.

Термодинамиканың екінші заңы табиғаттағы өтетін процестердің бағытын анықтайды. Екінші бастама бірінші бастама сияқты бірнеше тәсілдермен тұжырымдалуы мүмкін. Ең айқынырақ түрде тұжырымдап айтқанда екінші бастама: жалғыз-ақ нәтижесі жылудың салқын денеден ыстық денеге ауысуы болып келетін процестерді жүзеге асыру мүмкін емес.

Больцманның тағайындауы бойынша, энтропияның қарапайым статистикалық түсініктемесі бар. Егер бір емес, бірқатар күйдің ықтималдылығы бірдей және ең үлкен болса, онда тұйықталған жүйе мұндай күйлердің біреуінен басқаларына көше алады. Сөйтіп, тұйықталған жүйенің энтропиясы мен ықтималдылығының қасиеттері бірдей: олар не арта алады, не өзгеріссіз қала береді.

## 2.4 Нақты газдар. Сұйықтар.

Газдың бір молі үшін Ван-дер-Ваальс теңдеуі:  $\left(p + \frac{a}{V_\mu^2}\right)V_\mu - b = RT$

Қандай да болсын зат мөлшері үшін Ван-дер-Ваальс теңдеуі:

$$\left(p + \frac{\nu^2 a}{V^2}\right)V - \nu b = \nu RT \quad (97)$$

мұндағы  $a$  және  $b$  - Ван-дер-Ваальс тұрақтылары (газдың бір моліне есептеп алынған),

$V$  - газ алған көлемі,

$V_\mu$  - молярлық көлем,

$p$  - ыдыс қабырғаларына түсірілген қысым.

Молекулалардың өзараәсерлесу күштерімен туындалған ішкі қысым:  $p' = \frac{a}{V_\mu^2}$

немесе  $p' = \nu^2 \frac{a}{V^2}$

Кризистік параметрлерінің арасындағы байланысы— газ көлемінің, қысымының, температурасының  $a$  және  $b$  Ван-дер-Ваальс тұрақтыларымен байланысы:

$$V_{кр} = 3b, \quad p_{кр} = \frac{a}{27b^2}, \quad T_{кр} = \frac{3a}{27Rb}.$$

Нақты газдың 1 молінің ішкі энергиясы

$$U_\mu = \left(C_V T - \frac{a}{V_\mu}\right) \quad (98)$$

Нақты газдың ішкі энергиясы:  $U = \nu \left(C_V T - \frac{a}{V_\mu}\right)$ , мұндағы  $C_V$  - тұрақты көлемдегі газдың молярлық жылусыйымдылығы.

Жүйенің энтальпиясы:  $U_1 + p_1 V_1 = U_2 + p_2 V_2$ , мұндағы 1 және 2 индекстері жүйенің бастапқы және соңғы күйдеріне сәйкес келеді.

Беттік керілу коэффициенті:

$$\sigma = \frac{F}{l} \quad (99)$$

мұндағы  $F$  - сұйық бетін шектейтін  $l$  контурға әсер ететін беттік керілу күші, немесе  $\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta S}$ ,

мұндағы  $\Delta E$  - сұйықтың жоғарғы қабықшасының еркін энергияның өзгерісі, ол осы қабықшаның  $\Delta S$  бет ауданының өзгерісімен байланысты.

Лаплас формуласы (жалпы жағдайда):

$$p = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (100)$$

мұндағы  $p$  - сұйық имек бетінен пайда болған қысымы,  
 $\sigma$  - беттік керілу коэффициенті,  
 $R_1$  және  $R_2$  - сұйық беттердің өзараперпендикуляр қималарының қисықтық радиустары.

Сфералық бет жағдай үшін Лаплас формуласы:

$$p = \frac{2\sigma}{R} \quad (101)$$

Капиллярлы түтікшедегі сұйықтың көтерілу биіктігі:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g R} \quad (102)$$

мұндағы  $\theta$  - жиектік бұрышы,

$R$  - түтіктің радиусы,

$\rho$  - сұйық тығыздығы,

$g$  - еркін түсу үдеуі.

Екі жақын орналасқан параллель жазықтықтар арасындағы сұйықтың көтерілу биіктігі:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g d} \quad (103)$$

мұндағы  $d$  - жазықтықтар арасындағы ара қашықтығы.

8 кестеде сұйықтардың тығыздық мәндері келтірілген.

Кесте 8 Кейбір сұйықтардың тығыздығы

| Сұйықтық        | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Сұйықтық                  | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho$ , г/см <sup>3</sup> |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Сынап           | 13600                      | 13,6                       | Спирт                     | 800                        | 0,80                       |
| Күкірт қышқылы  | 1800                       | 1,8                        | мұнай                     | 800                        | 0,80                       |
| Бал             | 1350                       | 1,35                       | ацетон                    | 790                        | 0,79                       |
| Теңіз суы       | 1030                       | 1,03                       | Эфир                      | 710                        | 0,71                       |
| Қайнатылған сүт | 1030                       | 1,03                       | Бензин                    | 710                        | 0,71                       |
| Таза су         | 1000                       | 1,00                       | Сұйық қалайы<br>(400град) | 6800                       | 6,80                       |
| Күнбағыс майы   | 930                        | 0,93                       | Сұйық аяа(-<br>194град)   | 860                        | 0,86                       |

|             |     |      |         |     |      |
|-------------|-----|------|---------|-----|------|
| Машина майы | 900 | 0,90 | керосин | 800 | 0,80 |
|-------------|-----|------|---------|-----|------|

Дюлонг – Пти заңы

$$C_v = 3R \quad (104)$$

мұндағы  $C_v$  - химиялық қарапайым таза қатты дененің молярная (атомдық) жылу сыйымдылығы.

Клайперон – Клаузиустың теңдеуі, бірқалыпты өтетін процесс кезіндегі фазалық ауысудың температура өзгерісінің қысымның бірқалыпты өзгеретін тәуелділігін анықтай алатын теңдеу:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)} \quad (105)$$

мұндағы  $L$  - фазалық ауысудың жылуы,  $V_1 - V_2$  - бірінші фазадан екінші фазаға ауысу кезінде зат көлемінің өзгерісі,  $T$  - ауысу температурасы.

### 3 Электр және магнетизм

#### 3.1 Кулон заңы

Вакуумдегі орналасқан күктелік зарядтардың өзараәсерлесу күші  $F$ ,  $q_1, q_2$  зарядтарға тура пропорционал, ал  $r$  ара қашықтығының квадратына кері пропорционал:

Векторлық түрінде  $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$ , модуль жағынан

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \quad (104)$$

Изотропты ортадағы Кулон заңы:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \quad (105)$$

мұндағы  $\epsilon$  - ортаның диэлектрлік өтімділігі, өлшемсіз шама, зарядтардың вакуумдегі өзараәсерлесу күші ортадағы өзараәсерлесу күшінен неше есе артық болатындығын көрсетеді:  $\epsilon = \frac{F_0}{F}$

Вакуумдның диэлектрлік өтімділігі  $\epsilon_{\text{вак}} = 1$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ , электр тұрақтысы

Электрлік зарядтардың көлемдік тығыздығы:

$$\rho = \frac{dq}{dV} \quad (106)$$

мұндағы  $dq$  – көлемі  $dV$  зарядталған дененнің аз элементінің заряды

Электр зарядтардың беттік тығыздығы

$$\sigma = \frac{dq}{dS} \quad (107)$$

мұндағы  $dq$  – ауданы  $dS$  зарядталған беттің аз бөлігінің заряды

Электр зарядтардың сызықтық тығыздығы:

$$\tau = \frac{dq}{dl} \quad (108)$$

мұндағы  $dq$  – ұзындығы  $dl$  зарядталған аз бөлігінің заряды



Электр өрісінің кернеулігі

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (109)$$

$dS$  аудан арқылы кернеулік векторының ағыны:

$$d\Phi_E = \vec{E}d\vec{S} = E_n dS \quad (110)$$

$S$  -кез келген бет арқылы кернеулік векторының ағыны  $\Phi_E = \int_S \vec{E}d\vec{S} = \int_S E_n dS$

Электростатикалық өрістің қабаттасу принципі  $\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i; \varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i$  )

Вакуумдегі электростатикалық өрісі үшін Гаусс – Остроградский теоремасы: қандай да болсын тұйық бет арқылы вакуумдегі кернеулік векторының ағыны осы бет ішінде тұйықталған зарядтардың алгебралық қосындысының  $\epsilon_0$  -ға қатынасына тең шама.

$$\Phi_E = \iiint_S \vec{E}d\vec{S} = \iiint_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n Q_i = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV \quad (111)$$

Шексіз ұзын біртекті зарядталған жазықтықтың электр өрісінің кернеулігі

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

Екі шексіз параллель әр аттас зарядталған жазықтықтар арасындағы өріс кернеулігі:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (112)$$

Жалпы заряды  $q$  сфера центрінен  $r$  қашықтықта радиусы  $R$  зарядталған сфералық бет туғызатын өріс кернеулігі:

$$E = 0, (r < R - \text{сфера ішінде}) \quad (113)$$

және

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}; (r \geq R - \text{сфера сыртында}) \quad (114)$$

Шар центрінен  $r$  қашықтықтағы жалпы заряды  $q$  біртекті зарядталған радиусы  $R$  шар электр өрісінің кернеулігі:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Qr}{R^3}, \quad r \leq R \text{ кезінде (шар ішінде)}, \quad (115)$$

және

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}, \quad r \geq R \text{ кезінде (шар сыртында)} \quad (116)$$

Жалпы  $q$  зарядпен зарядталған шексіз радиусы  $R$  цилиндрдің осінен  $r$  қашықтықтағы өріс кернеулігі:

$$E = 0, \quad (\text{цилиндр ішінде}) \quad r < R \text{ кезінде} \quad (117)$$

және

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\tau}{r}, \quad (\text{цилиндр сыртында}) \quad r \geq R \text{ кезінде} \quad (118)$$

$q$  зарядтың 1 нүктенен 2 нүктеге дейін орын ауыстыру бойынша электростатикалық өрістің жасаған жұмысы:

$$A_{12} = Q_0(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (119)$$

$$\text{немесе } A_{12} = Q_0 \cdot \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = Q_0 \int_1^2 E_l dl \quad (120)$$

Электростатикалық өрістің кернеулік векторының циркуляциясы:

$$\int_L \vec{E} d\vec{l} = \int_L E_l dl \quad (121)$$

$q$  заряд өрісінде осы зарядтан  $r$  қашықтықта орналасқан  $q_0$  зарядтың потенциалдық энергиясы

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r} + const \quad (122)$$

Атлас зарядтар үшін өзараәсерлесудің потенциалдық энергиясы (тебілуі) оң, әр атлас зарядтардың өзараәсерлесудің (тартылудың) потенциалдық энергиясы теріс а.

Егер өріс  $n$  нүктелік зарядтар жүйесімен тұғызылған болса, онда осы өрісте орналасқан  $q_0$  зарядтың потенциалдық энергиясы әр бір зарядтың жеке тұғызылған өрістерінің потенциалдық энергия қосындысына тең:

$U = \sum_{i=1}^n U_i = q_0 \sum_{i=1}^n \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_i}$ . Осыдан потенциал  $\varphi = \frac{U}{q_0}$  -электр өрісінің энергетикалық сипаттамасы, оның өлшем бірлігі – В (Вольт).

Электростатикалық өрістің вакуумдегі  $r$  қашықтығы зарядтын потенциалы мен кернеулігі:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}; \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r} \quad (123)$$

Электростатикалық өрістің екі нүктесінің арасындағы потенциал айырымы оң бірлік оң зарядтың 1-ші нүктеден 2-ші нүктеге ауыстыру жұмысымен анықталады:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi = \frac{A_{12}}{q_0} \quad (124)$$

Электростатикалық өрістерінің потенциалдардың суперпозиция (қабаттасу) принципі: егер өріс бірнеше зарядтан пайда болса, онда өріс потенциалы әр бір заряд туғызатын потенциалдардың алгебралық қосындысына тең.

Электростатикалық өрістің кернеулігі мен потенциалдың арасындағы байланысы

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}\right) = -\nabla\varphi \quad (125)$$

Орталық (центрлік) немесе осьтік симметриялы өрістер үшін

$$E = -\frac{d\varphi}{dr} \quad (126)$$

Электростатикалық диполь деп модульдері жағынан тең әр аттас (+ $q$ , - $q$ ) зарядтардың арасындағы қашықтығы қарастырылатын нүктелерге дейінгі қашықтықтарынан аз болғандағы жүйе электрлік диполь деп аталады ( $l \ll r$ )

Электрлік диполь моменті (диполдік момент) әрни, екі әр зарядтардың аттас зарядтар жүйесінің ара қашықтығы  $l$  бойымен оң зарядтан теріс зарядқа қарай бағытталған вектор

$$\vec{p} = |q|\vec{l} \quad (127)$$

мұндағы  $\vec{l}$  - диполь иіні – диполь осі бойымен теріс зарядтан оң зарядқа қарай бағытталған және олардың арасындағы ара қашықтығына тең.

Диполь осінің жалғасуында орналасқан өрістің кернеулігі мен потенциалы:

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2p_e}{r_1^3}, \varphi_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{p_e}{r^2} \quad (128)$$

Диполь Ортасынан диполь осіне тұрғызылған перпендикулярдағы кернеуі мен потенциал:

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{p_e}{(r_2)^2}, \varphi_2 = 0 \quad (129)$$

Диэлектриктер деп, кәдімгі жағадайда электр тогын өткізбейтін заттар.

Диэлектриктердің үш типтерін ажыратады:

1) Полярлы емес молекулалары бар диэлектриктер, молекулалары симметриялық сыртқы өрістің жоқ болғандағы нольдік диполь моментіне ие болатын ( $N_2, O_2$ )

2) Полярлы молекулалардан тұратын диэлектриктер, олардың асимметриялық салдарынан молекулалары нольге тең емес дипольдік моментіне ие болады

3) Иондық диэлектриктер – әр таңбалы иондардың дұрыс орын алмасу мен кеңістіктік торлар ұсынатын иондық кристалдар.

Поляризацияның үш түрі ажыратылады:

1) электрондық немесе деформациондық диэлектриктер поляризациясы – электрондық орбиталады деформация есебінен диэлектриктің атомдар мен молекулалардың дипольдік моменті индукцияланады;

2) полярлы молекулалары диэлектриктің бағдарланушы немесе дипольді поляризациясы – өріс бойымен дипольді моментіне ие болатын молекулалардың бағдарлануы;

3) иондық кристалдық торларымен диэлектриктердің иондық поляризациясы – өріс бойымен оң иондардың торшасының ығысуы, ал теріс иондардың өріске қарсы ығысуы дипольді моментінің пайда болуына әкеп соғады.

Поляризацияланғыштық  $\bar{P}$  – бірлік көлемінің дипольдік моменті:

$$\bar{P} = \frac{\sum_i \bar{p}_i}{V} \quad (130)$$

мұндағы  $V$  - диэлектрик көлемі,

$\bar{p}_i$  -  $i$ -ші молекуланың дипольдік моменті.

Электростатикалық өрістің кернеулігімен диэлектриктің поляризациялылығымен байланысы:

$$\bar{P} = \chi\epsilon_0 \bar{E} \quad (131)$$

мұндағы  $\chi$  - заттың диэлектрлік қабылдағыштығы.

Диэлектрлік өтімділігінің диэлектрлік қабылдағыштығы арасындағы байланысы:

$$\varepsilon = 1 + \chi \quad (132)$$

Диэлектриктегі  $E$  өріс кернеулігімен вакуумдегі өріс кернеулігінің арасындағы байланысы  $E_0$ :

$$\text{немесе } E = \frac{E_0}{\varepsilon} \quad (133)$$

Электр өрісінің электр ығысу векторы мен электр өрісінің кернеулігі арасындағы байланысы

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E} \quad (134)$$

$\vec{D}$ ,  $\vec{E}$  және  $\vec{P}$  арасындағы байланысы:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (135)$$

Диэлектриктегі электростатикалық өрісі үшін Гаусс теоремасы:

$$\Phi_D = \oiint_S \vec{D} d\vec{S} = \oiint_S D_n dS = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (136)$$

Өткізгіш бетіндегі электростатикалық өрісінің кернеулігі:  $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon}$

мұндағы  $\sigma$  - зарядтардың беттік тығыздығы.

Оңашаланған өткізгіштің электр сыйымдылығы:

$$C = \frac{Q}{\varphi} \quad (137)$$

мұндағы  $Q$  - өткізгішке берілген заряд,  $\varphi$  - өткізгіш потенциалы.

Оқшауланған өткізгіш шардың электр сыйымдылығы, осы шардың радиусына тура пропорционал және ортаның диэлектрлік өтімділігіне де тура пропорционал:

$$C = 4\pi \varepsilon_0 R \quad (138)$$

Жазық конденсатордың электр сыйымдылығы:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \quad (139)$$

Цилиндрлік конденсатордың электр сыйымдылығы

$$(140)$$

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon l}{\ln r_2/r_1}$$

$l$  - конденсатор астарлар ұзындығы,  
 $r_1, r_2$  - коаксиаль цилиндрлердің радиустары.  
 сфералық конденсатор сыйымдылығы

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} \quad (141)$$

мұндағы  $r_1, r_2$  - концентрлік сфералардың радиустары.

Конденсаторларды бір-бірімен тізбектей қосқандағы электрсыйымдылығы

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (142)$$

Тізбектей қосылған конденсатордағы заряд шамасы әр бір конденсаторда бірдей өзара тең  $q = q_1 = q_2 = \dots = q_n$ , ал тізбектей қосылған конденсаторлар батареясының жалпы кернеу шамасы әр бір конденсатор астарлардағы кернеудің қосындысына тең  $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$

Параллель қосылғандағы конденсатор батареясының электрсыйымдылығы

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \quad \text{мұндағы } C_i - i\text{-ші конденсатордың электрсыйымдылығы, } n - \text{ конденсаторлар саны.}$$

Параллель қосылған конденсатор батареясының заряд шамасы әр бір конденсаторда жинақталған зарядтардың қосындысына тең  $q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$

ал кернеудің жалпы шамасы әр бір конденсатор астарларындағы кернеу шамасына тең  $U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$

Өкшауланған зарядталған өткізгіштің энергиясы:

$$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{Q\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C} \quad (143)$$

Нүктелік зарядтар жүйесінің өзараәсерлесудің энергиясы:

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n Q_i \varphi_i \quad (144)$$

мұндағы  $\varphi_i$  -  $i$ -ші зарядтан басқа  $Q_i$  заряд орналасқан нүктедегі туындалған өрістің потенциалы.

Зарядталған конденсатордың энергиясы:

$$W = \frac{C \cdot \Delta\varphi^2}{2} = \frac{Q \cdot \Delta\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C} \quad (145)$$

мұндағы  $Q$  - конденсатордағы заряд шамасы,  $C$  - оның электрсыйымдылығы,

$\Delta\varphi$  - астарлар арасындағы поетнциал айырымы (кернеу).  $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = U$

Пондеромоторлық күш— әр аттас зарядтармен зарядталған конденсатор астарлары арасындағы тартылу күші зарядтар мәнінің квадратына тура пропорционал, ал жазықтық аудандарына сонымен бірге ортаның диэлектрлік өтімділігіне кері пропорционал, немесе керісінше заряд шамасын оның беттік тығыздығы арқылы өрнектеп жазса, онда :

$$|F| = \frac{Q^2}{2\varepsilon_0\varepsilon S} = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2 S}{2} \quad (146)$$

Жазық конденсатордың электростатикалық өрістің энергиясы:

$$W = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2} Sd = \frac{\varepsilon_0\varepsilon S U^2}{2d} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2} V \quad (147)$$

Электрэнергиясының көлемдік тығыздығы

$$\varpi = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2} = \frac{ED}{2} \quad (148)$$

мұнадғы  $D$  - электрығысудың векторы.

### 3.2 Тұрақты электр тогы

Зарядталған бөлшектердің бағытталған қозғалысы –**электр тогы** деп аталады ток бағытына оң зарядтардың қозғалыс бағыты алынған.

Уақыт бойымен шамасы мен бағыты өзгермейтін токты тұрақты ток деп атайды

Тұрақты ток күші –скалярлық шама, сан жағынан өткізгіштің көлденең қимасынан бірлік уақыт ішінде өткен заряд шамасына тең  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$  немесе  $I = \frac{dq}{dt}$

Ток күшінің өлшем бірлігі –ампер (А)

Электр тогының тығыздығы  $\vec{j}$  деп, сан жағынан өткізгіштің көлденең қимасының бірлік ауданына келетін ток күшіне тең векторлық физикалық шама

аталады  $j = \frac{I}{S}$  :

немесе  $\vec{j} = \frac{I}{S} \vec{k}$  мұндағы  $\vec{k}$  -оң зарядтардың қозғалыс бағытымен дәл келетін бірлік вектор

Өткізгіштегі ток тығыздығы:  $\vec{j} = ne \langle \vec{v} \rangle$

$n$  –зарядтардың концентрациясы,  $\langle \vec{v} \rangle$  -зарядтардың реттелген қозғалысының жылдамдығы, А/м<sup>2</sup> өлшем бірлігімен өлшенеді.

Электр тогы пайда болу үшін қажет:

-ток тасушылардың бар болуы– бағытталған қозғала алатын зарядталған бөлшектер.

-энергиясы толықтырылып отыратын электр өрісінің бар болуы.

Тұрақты токтың бар болуына электростатикалық емес күштер есебінен потенциал айырымын туғызып ұстап тұратын құрылғысы қажет, ондай құрылғыларды ток көздері деп атайды.

Ток көзі жағынан Табиғаты Электростатикалық емес күштерді **бөгде күштер** деп атайды.

Бірлік оң зарядтын ауыстыру жұмысын жасап тұратын бөгде күштердің жұмысымен анықталатын физикалық шама тізбекте әрекет жасайтын Электр Қозғаушы Күш (ЭҚК)деп аталады:

$$\varepsilon = \frac{A_0}{q_0} \quad (149)$$

Бөгде күштер **эсер етпейтін** тұратын тізбек бөлігі **біртекті** деп аталады.

Ал ток тасушыларға бөгде күш эсер ететін бөлігі, **біртекті емес** деп аталады.

Тізбектің түйықталған бөлігінде  $q_0$  зарядтың орын ауыстыру жұмысы

$$A = \int_1^2 \vec{F} d\vec{l} = q \int_1^2 \vec{E}_0 d\vec{l} \quad (150)$$



Тұйық тізбектегі әсер ететін ЭҚК-бұл бөгде күштердің кернеулік вектордың циркуляциясы:

$$\varepsilon = \frac{A_{\sigma}}{q} = \oint \vec{E}_{\sigma} d\vec{l} \quad (151)$$

Тұйық контур бойынша бөгде күштердің кернеулік векторының циркуляциясы нольге тең емес, сондықтан бөгде күштердің өрісі потенциалды емес.

Тізбектің 1-2 бөлігіндегі әсер ететін ЭҚК-

$$\varepsilon_{12} = \int_1^2 \vec{E}_{\sigma} d\vec{l} \quad (152)$$

Тізбектің 1-2 бөлігіндегі **кернеу**  $U$  деп сан жағынан электростатикалық және бөгде күштерімен тізбектің берілген бөлігіндегі бірлік оң зарядты орын ауыстыру бойынша жасалатын қосынды жұмысына тең шама:

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{q_0} = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}$$

Тізбек бөлігінің ұштарындағы кернеу  $U$ , егер осы тізбек бөлігінде ток көзі болмаса потенциал айырымына  $\varphi_1 - \varphi_2$  тең

Көлденең қимасының ауданы  $S$  бойында Ұзындығы  $l$  бірдей біртекті өткізгіштің кедергісі  $R$  мына формуламен анықталады

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (153)$$

мұндағы  $\rho$  - өткізгіштің меншікті кедергісі

Өткізгіштің кедергісі Ом өлшем бірлігімен өлшенеді (Ом)

Өткізгіштің меншікті кедергісі (Ом м) өлшем бірлігімен өлшенеді.

Қимасы айнымалы өткізгіштің кедергісі  $dr = \frac{dl}{S}$  өрнекті интегралдау арқылы есептелінеді:

Электр кедергісіне кері шамасы электрлік өткізгіштік деп аталады:  $G = \frac{1}{R}$

Ол Симменс (См) өлшем бірлігімен өлшенеді

Меншікті өткізгіштік  $\gamma$  меншікті кедергімен мына қатынас арқылы байланысқан:

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (154)$$

Меншікті өткізгіштіктің өлшем бірлігі –  $\left(\frac{\text{См}}{\text{м}}\right)$

Дифференциалы түрдегі Ом заңы – өткізгіш ішіндегі қандай да болсын нүктесіндегі ток тығыздығы мен сол нүктедегі электр өрісінің керенулігі арасындағы байланысын береді:

$$\vec{j} = \gamma \vec{E} \quad (155)$$

Ток көзі болмағн тізбек бөлігі үшін Ом заңы: өткізгіш ұштарындағы потенциал айырымына тура пропорционал  $\varphi_1 - \varphi_2$  және өткізгіштіктің кедергісіне кері пропорционал  $R$  :

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} \quad (156)$$

Меншікті кедергінің температураға тәуелділігі:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t) \quad (157)$$

мұндағы  $\rho_0$  -  $0^\circ\text{C}$  температурадағы меншікті кедергі,  
 $\rho$  -  $t^\circ\text{C}$  температурадағы меншікті кедергісі,  
 $\alpha$  - кедергінің температуралық коэффициенті.  
Өткізгіш кедергісінің температураға тәуелділігі:

$$R = R_0(1 + \alpha t) \quad (158)$$

мұндағы  $R_0$  -  $0^\circ\text{C}$  температурадағы кедергі,  
 $R$  -  $t^\circ\text{C}$  температурадағы кедергі,  
 $\alpha$  - кедергінің температуралық коэффициенті.

Бір бірімен өзара тізбектей қосылған өткізгіштердің жалпы кедергісі  $R$  жеке өткізгіштердің кедергілер қосындысына тең:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i, \quad I_1 = I_2 = \dots = I = \text{const}, \quad U = \sum_{i=1}^n U_i \quad (159)$$

Өзарапараллель қосылған өткізгіштердің жалпы кедергісі, өткізгіштердің өткізгіштіктердің қосындысына немесе кедергілердің кері шамаларының қосындысына тең:

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}, \quad U_1 = U_2 = \dots = U_n = U = \text{const}, \quad I = \sum_{i=1}^n I_i \quad (160)$$

Егер электр өрісінде зарядқа әсер ететін күш әсерінен ол кейбір қашықтыққа орын ауыстырса, онда өрістің екі нүктесі арасындағы зарядты

орын ауыстыру бойынша жасалған жұмысы осы электр өрістегі екі нүктенің арасындағы потенциал айырымымен анықталады:

$$A_{12} = q_0 \Delta \varphi \quad (161)$$

осыдан:

$$dA = Udq = IUdt = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt \quad (162)$$

Ток тығыздығы:

$$P = \frac{dA}{dt} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (163)$$

Джоуль – Ленц заңы (интегралды түрінде): тізбек бөлігімен тұрақты токпен бөлінетін жылу мөлшері ток квадратының оның өту уақытына және осы тізбек бөлігінің кедергісіне көбейтіндісіне тура пропорционал:

$$Q = \int_0^t IR^2 dt = I^2 R t \quad (164)$$

Меншікті жылулық қуат дегеніміз  $\varpi$  бірлік уақыт ішінде бірлік көлем арқылы бөлінетін жылу мөлшері:

$$\varpi = \frac{dQ}{dV dt} = \rho j^2 \quad (165)$$

Дифференциалды түрдегі Джоуль – Ленц заңы:

$$\varpi = \gamma E = j E^2 \quad (166)$$

Біртекті емес тізбек бөлігі үшін интегралды түрдегі Ом заңы:

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 + \Theta_{12} \quad (167)$$

немесе

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \Theta_{12}}{R} \quad (167)$$

Дербес жағдайлары:

Бірінші дербес жағдайы: егер тізбек бөлігінде ток көзі болмаса, сонда электр тізбек бөлігі үшін Ом заңын мына түрде

аламыз:

$$I = \frac{U}{R} \quad (168)$$

Екінші дербес жағдайы: егер тізбек тұйықталған болса,  $\Delta\varphi = 0$ , онда ЭҚК бар болған тұйық контур үшін Ом заңын аламыз (толық тізбек үшін Ом заңы).

ЭҚК  $i$  бар болған тізбектегі ток күші  $I$  ток көзінің ЭҚК-не тура пропорционал, ал тізбектің толық кедергісіне кері пропорционал  $R+r$ :

Үлке әрпімен тізбектің сырты кедергісі белгіленген, ал кіші әрпімен ток көзінің ішкі кедергісі:

$$I = \frac{\Theta}{R+r} \quad (169)$$

Егер тізбек ажыратылған болса, онда  $I = 0$  және  $\Theta_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$ , яғни ажыратылған тізбектегі ЭҚКі оның ұштарындағы кернеу шамасына тура пропорционал.

Қысқа тұйықталу жағдайда тізбектің сыртқы кедергісі  $R_{\text{внеш.}} = 0$  және

ток күші  $I = \frac{\Theta}{r_{\text{внутр.}}}$  тек қана ток көзінің ішкі кедергісі мен ғана анықталады.

Тармақталған тізбектер үшін Кирхгоф ережелері:

Кирхгофтың 1-ші заңы (ережесі). Түйінде тоғысатын токтардың ток күштерінің алгебралық қосындысы нольге тең:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (170)$$

Түйін деп үш немесе одан да артық өткізгіштер тоғысатын нүкте аталады. Түйінге қарай бағытталған токтары «плюс» таңбасымен алынады, ал түйіннен бастап сыртқа қарай бағытталған токтар «минус» таңбамен алынады.

Кирхгофтың 2-ші заңы (ережесі). Қандай да болсын тұйық контурдағы кернеу түсулердің алгебралық қосындысы (т.е. произведений сил токов  $I_i$  на соответствующее сопротивление  $R_i$ ) осы контурдағы бар болған ЭҚК ің алгебралық қосындысына тең:

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^m \Theta_i \quad (171)$$

Дифференциалды түрдегі Ом заңы. Өткізгіштегі ток тығыздығы  $\vec{j}$  ондағы электр өрісінің кернеулігіне  $\vec{E}$  тура пропорционал:

$$\vec{j} = \gamma \vec{E} \quad (172)$$

мұндағы  $\gamma$  - меншікті өткізгіштік.

Джоуль – Ленц заңының дифференциалды түрі.

Жылулық қуатының көлемдік тығыздығы, яғни өткізгіш бойымен бірлік уақыт ішінде бірлік уақыт мезетінде бөлініп шығатын энергия электр өрісінің кернеулігінің квадратына пропорционал:

$$\varpi = jE = \gamma E^2 \quad (173)$$

Термоэлектрқозғаушы күш  $E$  түйісулердің температураларын ( $T_1 - T_2$ ) және термопара маталдарындағы еркін электрондар зарядтарының концентрация коэффициенттер қатынасының логарифміне  $n_1/n_2$  тура пропорционал:

$$\Theta = \frac{k}{l} (T_1 - T_2) \ln \frac{n_1}{n_2} \quad (174)$$

Электролиз үшін Фарадей заңдары. Электрод бетінде бөлініп шыққан зат массасы  $m$  химиялық эквивалентіне  $A/n$ , электролит арқылы ағып өтетін ток күшіне  $I$ , және ток өту уақытына  $t$  тура пропорционал:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} It \quad (175)$$

мұндағы  $F$  – Фарадей саны,  $F = 96,5 \frac{\text{кКл}}{\text{моль}}$  бір килограмм эквивалент зат электродта бөліну үшін электролит арқылы қай заряд мөлшері ағып кетуі қажет екендігін көрсететін сан,

$A$  – элементтің килоатом массасы (берілген зат иондарының молярлық массасы),

$n$  – элементтің валенттілігі

Электролиттегі ток тығыздығы  $j$  электр өрісінің кернеулігіне  $E$ , оң және теріс иондарының қозғалтқыштығына ( $u_+$  +  $u_-$ ) және электролиттің бірлік көлемдегі иондар жұбына пропорционал:

$$j = qn(u_+ + u_-)E \quad (176)$$

мұндағы  $q$  – ион заряды.

Иондардың қозғалтқыштығы  $u$  сан жағынан сол немесе басқа таңбасы болатын ион кернеулігі бірге тең болатын өрісінде ие болған орташа квадраттық жылдамдығына  $\langle v \rangle$  тең:

$$u = \frac{\langle v \rangle}{E} \quad (177)$$

Сандары бірдей оң және теріс иондары электролиттер үшін осы формаула орын табады.

Газдардағы ток тығыздығы келесі формулаларымен анықталады:

а) ток шамасы қанығу калпынан алыс жағдайда:

$$j = qn(u_+ + u_-)E \quad (178)$$

мұндағы  $q$  – ион заряды,

$n$  – иондар концентрациясы (көлем бірілігіндегі әр бір таңбалы иондар саны),

$u_+$  және  $u_-$  оң және теріс иондардың қозғалтқыштығы,

$E$  - өріс кернеулігі;

б) қанығу пайда болғанда:

$$j_n = qn_0d \quad (179)$$

мұндағы  $n_0$  – бірлік көлемде бірлік уақыт ішінде ионизатор туғызатын иондар жұбының саны,

$d$  – электродтар арасындағы ара қашықтығы.

Друде – Лоренц теориясына сәйкес, электрондар біратомды газ молекулалар ие болған жылулық энергияға ие болады:

Электрондардың жылулық қозғалысының орташа жылдамдығы:

$$\langle u \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_e}} \quad (180)$$

мұндағы  $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К- Больцман тұрақтысы,

$m_e = 9.11 \cdot 10^{-31}$  кг- электрон массасы,

$T$ - абсолютті (термодинамикалық) температура.

Видеман – Франц заңы: жылуөткізгіштіктің  $\lambda$  меншікті өткізгіштігіне  $\gamma$  қатынасы барлық металдар үшін бірдей температурада бірдей және температураға тура пропорционал өседі:

$$\frac{\lambda}{\gamma} = \beta \cdot T \quad (181)$$

мұндағы  $\beta = 3\left(\frac{k}{e}\right)^2$  -пропорционалдық коэффициент.

Электрондық эмиссия – шығу жұмысына тең немесе одан артық энергияны электрондарға бергенде металдан электрондардың ұшып шығуы.

Электрондардың металдан шығу жұмысы дегеніміз – электрондарды металдан вакуумға алыстату үшін жұмсалатын жұмыс.

Электрондық эмиссия түрлері:

- термоэлектронды эмиссия – қыздырылған денелермен электрондырдың бөлініп шығуы;

- фотоэлектронды эмиссия – электромагнитті сәулеленудің әсерінен электрондардың эмиссиясы;

- екінші реттілік электрондық эмиссия – металл, жартылай өткізгіштер немесе диэлектриктер бетінен электромагниттік сәулеленудің әсерінен электрондардың бөлініп шығуы.

- автоэлектронды эмиссия – сыртқы күшті электромагниттік өрісі әсерінен металл бетінен электрондардың эмиссиясы.

Иондалған газ арқылы электр токтың өтуі газдық разряды деп аталады.

Газдардың иондалуы – ионизатор(күшті қыздыру, қатаң сәулеленуі, бөлшектер ағыны) әсерінен бейтарап газ молекулалардың иондарға және еркін электрондарға ыдырап кетуі (күшті қыздыру, қатаң сәулеленуі, бөлшектер ағыны)

Иондалу энергиясы –молекуладан (атомнан) электрондарды жұлып шығару үшін жұмсалған энергиясы.

Тек қана сыртқы ионизаторлар әсерінен пайда болатын разряд, тәуелді разряд деп аталады.

Сыртқы ионизатор әрекеті тоқталғаннан кейін сақталатын газдрадағы разряд тәуелсіз разряд деп аталады.

Тәуелсіз (өзіндік) газдық разряд пайда болатын кернеу шамасы тесу кернеуі деп аталады.

Өзіндік разрядтың төрт түрі бар:

- солғын разряд – төменгі қысымда пайда болады

- ұшқындық разряд – электр өрісінің үлкен кернеулігі кезінде пайда болады;

- доғалық разряд – пайда болады:

а) егер қуатты көзінен ұшқынды разряд жаңған соң электродтар арасындағы ара қашықтықты бірте-бірте азайтса,

б) егер электродтарды жақындатып түйістірсе, содан соң алыстатса

- тәж разряд: беттік қисықтығы үлкен электродтар маңында күрт жоғары қысымда пайда болады.

### 3.3 Магнит өрісі.

Электр токтар және тұрақты магниттер айналасындағы кеңістікте күштік өріс пайда болады, оны магнит өрісі деп атайды.

Эксперимент жүзінде анықталғаны:

1) магнит өрісі қозғалыстағы зарядтарға әсер етеді,

2) қозғалыстағы зарядтар магнит өрісін туғызады.

Тоғы бар рамканың нормальдің оң бағытына оң винттің ілгерілемелі қозғалысы қабылданған, оның басы рамкадағы ток бағытымен айналғандағы бағыты.

Магниттік индукция  $\vec{B}$  - магнит өрісінің күштік сипаттамасы, рамкадағы нормаль өріске перпендикуляр кездегі бірге тең магнит моменті рамкаға әсер ететін максимал айналдырушы моментімен анықталады.

Магнит өрісінің индукциясының өлшем бірлігі– Тл (тесла)

Магнит өрісінің индукциясы әрқашан да тұйық және тоғы бар өткізгіштерді қамтиды.

Біртекті магнит өрісіне орнатылған тоғы бар контурға әсер ететін механикалық момент:

$$\vec{M} = I \vec{p}_m \times \vec{B} \quad (182)$$

мұндағы  $\vec{B}$  - магнит индукция,

$\vec{p}_m$  - тоғы бар контурдың магнит моменті.

Тоғы бар контурдың магнит моменті:

$$\vec{p}_m = IS\vec{n} \quad (183)$$

мұндағы  $S$  - тоғы бар контурдың ауданы,

$\vec{n}$  - контур бетіне нормальдің бірлік векторы,

$I$  - контурдағы ток күші.

Макроскопиялық токтар– электр тізбектеріндегі өткізгіштер арқылы ағып өтетін тотар.

Микроскопиялық токтар – атомдар мен молекулалардағы электрондардың қозғалысымен туындағын токтар.

Макротоктың магнит өрісі магнит өрісінің  $\vec{H}$  кернеулік векторымен анықталады.

Өлшем бірлігі А/м (ампер/метр)

Барлық макро және микро токтары туғызатын өрісті магнит индукция векторы сипаттайды.

Магнит индукция мен  $\vec{B}$  магнит өріс кернеуілігінің арасындағы байланыс  $\vec{H}$  :

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H} \quad (184)$$



$\mu_0$  - магнит тұрақтысы

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн / м} \quad (185)$$

$\mu$  - ортаның магнит өтімділігі.

Магниттік тұрақтысы:

Био-Савар-Лаплас заңы:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu I d\vec{l}, \vec{r}}{4\pi r^3} \quad (186)$$

$d\vec{B}$  -  $I$  ток туғызатын  $d\vec{l}$  өткізгіштіктің магнит өрісінің индукциясы,

$\vec{r}$  -  $d\vec{l}$  ден магнит индукциясы анықталатын нүктеге дейін өткізілген радиус-вектор.

$$d\vec{B} \text{ векторының модулі: } dB = \frac{\mu_0 \mu I dl \sin \alpha}{4\pi r^3} \quad (187)$$

мұндағы  $\alpha$  -  $d\vec{l}$  және  $\vec{r}$  векторлар арасындағы бұрыш  
Магнит өрістерінің қабаттасу принципі:

$$\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i \quad (188)$$

$\vec{B}$  - қорытқы өрістің магнит индукциясы,

$\vec{B}_i$  - қосылатын өрістерінің магнит индукциясы.

Тоғы бар шексіз ұзын өткізгіш туғызатын өрістің магнит индукциясы

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I}{R} \quad (189)$$

$R$  - өткізгіш осінен ара қашықтық.

Сым кесегімен туғызылған магнит өрісі:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I}{R} [\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2] \quad (190)$$

Тоғы бар дөңгелек токтың центріндегі магнит индукциясы:

$$B = \mu_0 \mu \frac{I}{2R} \quad (191)$$

мұндағы  $R$  - өткізгіштіктің қисықтық радиусы.

Орам осі бойында оның центрінен  $r$  қашықтықтағы магнит өрісінің индукциясы:

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2} \cdot \frac{IR^2}{\sqrt{R^2 + r^2}^3} \quad (192)$$

Тоғы бар орамынан үлкен қашықтықтағы дөңгелек токтың туғызатын магнит өрісінің кернеулігі  $r \gg R$ :

$$H = \frac{2IS}{4\pi r^3} = \frac{2p_m}{4\pi r^3} \quad (193)$$

мұндағы  $p_m = IS$  - тоғы бар орамының магнит моменті.

Ампер заңы: магнит өрісінде орналасқан  $d\vec{l}$  өткізгіш элементіне әсер ететін күш  $d\vec{F}$

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B} \quad (194)$$

мұндағы  $d\vec{l}$  ток бағытымен сәйкес келетін модуль жағынан  $dl$  ге тең вектор,

$\vec{B}$  - магнит индукция векторы.

Сол қол ережесі (Ампер күш бағытын анықтайтын): сол қолды магнит өрісінің күш сызықтары алақанға енетіндей етіп, ал төрт саусақты ток бағытымен ұстағанда, бас бармақ өткізгішке әсер ететін күштің бағытын көрсетеді (ток бағыты етіп электронның немесе электр өрісіндегі теріс иондардың қозғалысына қарсы бағыт алынады).

Параллель токтардың өзараәсерлесуі:

$$dF_1 = dF_2 = dF = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I_1 I_2}{R} dl \quad (195)$$

Ток бағыттары бірдей параллель өткізгіштер бір-біріне тартылады, ал қарама-қарсы бағыттағы токтар -тебіледі.

Еркін қозғалыстағы зарядтың магнит өрісі:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{q \vec{v} \times \vec{r}}{r^3} \quad (196)$$

модуль:

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{qv}{r^2} \sin \alpha \quad (197)$$

Лоренц күші,  $\vec{B}$  магнит өрісінде  $\vec{v}$  жылдамдықпен қозғалатын, қозғалыстағы  $q$  зарядқа әсер ететін күш Лоренц күші деп аталады:

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} \quad (198)$$

Лоренц күштің модулі:

$$F = qvB \sin \alpha \quad (199)$$

Лоренц күш бағыты сол қол ережесімен анықталады.

Тұрақты магнит өрісі ондағы қозғалыстағы зарядқа жұмыс жасамайды және осы бөлшектердің кинетикалық энергиясы магнит өрісінде өзгермейді.

Лоренц формуласы (индукциясы  $\vec{B}$  магнит өрісінен басқа кернеулігі  $\vec{E}$  электр өрісі де әсер ететін қозғалыстағы электр зарядының қозғалысын қарастырады):

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \quad (200)$$

Магнит өрісінде зарядталған бөлшектің қозғалысы:

-  $\vec{v} \parallel \vec{B}$  - зарядталған бөлшек магнит өрісінде магнит индукция сызығы бойымен қозғалады. Лоренц күші нольге тең. Бөлшек түзу сызықты және бірқалыпты қозғалады.

-  $\vec{v} \perp \vec{B}$  - магнит өрісіндегі зарядталған бөлшек магнит индукция сызықтарына перпендикуляр қозғалады. Лоренц күші  $F = qvB$ : модуль жағынан тұрақты және бөлшек траекториясына нормаль бағытпен бағытталады. Бөлшек радиусы  $R$  шеңбер бойымен центретартқыш үдеуімен қозғалады  $a_n = \frac{v^2}{R}$ , осыдан шеңбер радиусы:

$$R = \frac{mv}{qB} \quad (201)$$

Айналу периоды

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB} \quad (202)$$

Ескерту:  $\frac{q}{m}$  қатынасы - меншікті заряды деп аталады

- зарядталған бөлшек магнит индукция сызықтарына  $\alpha$  бұрыш жасай бағытталса, онда оның қозғалысы: өріс бойымен бірқалыпты түзу сызықты  $v_{\parallel} = v \cos \alpha$  және өріске перпендикуляр жазықтықта шеңбер бойымен қозғалыс

екі қозғалыс қосындысы ретінде қарастырылады. Қосынды қозғалыс осі магнит өрісіне параллель спираль бойымен қозғалыс болып табылады.

Винтті сызықтың қадамы:

$$h = \frac{2\pi mv \cos \alpha}{qB} \quad (203)$$

Берілген тұйық контур арқылы  $\vec{B}$  векторының циркуляциясы деп осы контур арқылы интеграл аталады:

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint_L B_l dl \quad (204)$$

мұндағы  $d\vec{l}$  - контур элементінің ұзындығы (контурды ораушы бағытымен бағытталған)

$B_l = B \cos \alpha$ , - контурға жанама бойымен  $\vec{B}$  вектор құраушысы

$\alpha$  -  $\vec{B}$  және  $d\vec{l}$  векторлар арасындағы бұрыш.

$\vec{B}$  вектор туралы циркуляция теоремасы (вакуумдегі магнит өрісі үшін толық ток заңы): тұйық қандай да болсын контур бойынша  $\vec{B}$  вектор циркуляциясы магнит тұрақтысының  $\mu_0$  осы контурмен шектелген токтардың алгебралық қосындасының көбейтіндісіне тең:

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint_L B_l dl = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k \quad (205)$$

мұндағы  $n$  - число проводников с током, охватываемых контуром пішіні қандай да болсын  $L$  контур орап алған тогы бар өткізгіштер саны (ескерту: бұл теорема тек қана вакуумдегі өрісі үшін дұрыс, оң винтіне сәйкес контурды орап өтетін бағытымен дәл келетін ток бағытын оң таңбамен алады.)

Соленоид дегеніміз электр тогы ағып өтетін спираль түрінде оарлған оқшауланған өткізгіші аталады.

Вакуумдегі шексіз соленоидтің магниттік индукциясы:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} \quad (206)$$

Мұндағы  $N$  - соленоидтегі орам саны,

$I$  - соленоид арқылы ағып өтетін ток күші,

$l$  - соленоид ұзындығы.

Тороид – ток ағып өтетін тор тәріздес өзекке оралған орамы бар сақиналы катушка.

Вакуумдегі тороидтың магнит өрісі:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} \quad (207)$$

мұндағы  $r$  - центрі тороид осінде жатқан шеңбер радиусы,

$N$  - тороидтың орам саны.

$dS$  аудан арқылы Магнит өрісінің ағыны деп (магнит ағыны)

$d\Phi = B dS$  тең скалярлық шама аталады. мұндағы  $B_n = B \cos \alpha$ ,  $dS$ , ауданға

$\vec{n}$  нормаль бағытына  $\vec{B}$  вектордың проекциясы

$\alpha$  -  $\vec{n}$  және  $\vec{B}$  векторлар арасындағы бұрыш,

$\vec{dS}$  - модулі  $dS$ , шамаға тең ал бағыты ауданға  $\vec{n}$  нормаль бағытымен дәл

келіп тұратын вектор.

Өз өзімен шектелген тогы бар контур арқылы магнит ағыны әр қашанда оң.

Кез келген бет арқылы магнит индукция векторының ағыны  $S$ :  $\Phi = BS \cos \alpha$

Егер өріс біртекті болса, және ауданы  $S$  жазық бетке перпендикуляр орналасқан болса, онда  $\Phi = BS$ . өлшем бірлігі – вебер (Вб)

Вакумдегі магнит өрісі үшін Гаусс теоремасы: қандай да болсын тұйық бет арқылы магнит индукция векторының ағыны нольге тең:

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \quad (208)$$

(физикалық мағынасы – магниттік зарядтар жоқ, сондықтан магнит индукция векторының магнит сызықтарының щет басы жоқ, олар тұйық).

Тұйық контурмен шектелген бет арқылы толық магнит ағыны магнит ілінісі деп аталады  $\Psi$ .

өз котурдың ішінде токтың магнит өрісімен туындалған контурдың ағын ілінісуі өздік индукцияның ағын ілінісуі деп аталады.

Соленоидтың барлық орамдарымен ілініскен толық магнит ағыны:

$$\Psi = B_1 S = BSN = \frac{\mu \mu_0 NI}{l} SN = \mu_0 \mu \frac{N^2 I}{l} S \quad (209)$$

Магнит өрісінде тогы бар өткізгіштің орын ауыстыру бойынша жұмысы ток күшінің қозғалыстағы өткізгішпен қиылып өтетін магнит ағынына көбейтіндісіне тең шама.

$$dA = Id\Phi \quad (210)$$

$$(211)$$

$$dA = I(d\Phi_2 - d\Phi_1) \quad \text{немесе} \quad A = I(\Psi_2 - \Psi_1)$$

### 3.4 Электромагниттік индукция құбылысы.

Тұйық өткізгіш контурда осы контурмен шектелген магнит индукция ағынының өзгерісі кезінде токтың пайда болу құбылысы электромагниттік индукция құбылысы деп аталады, пайда болатын ток индукциялық ток деп аталады.

Индукциялық ток қасиеттері:

- магнит индукция ағынымен ілінскен магнит ағынының өзгерісі пайда болғанда әрқашан да индукциялық ток пайда болады.

- магнит индукция ағынын өзгеріс тәсіліне индукциялық ток шамасы тәуелді болмайды, ол тек қана оның өзгеріс жылдамдығымен анықталады.

Фарадей заңы: электромагниттік индукцияның ЭҚК сан жағынан контурдағы тұйық бет арқылы магнит ағынының өзгеріс жылдамдығына тең, ал таңбасы жағынан қарама-қарсы:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (212)$$

Ленц ережесі: электромагниттік индукция процесі нәтижесінде пайда болатын индукциялық ток бағытын анықтайды. Оның тұжырымдамасын 1833 ж. Э.Ленц (1804 — 1865) ұсынған. Ленц ережесі бойынша: тұйықталған контурда пайда болатын индукциялық ток оны тудыратын магниттік индукция ағынының өзгеруіне қарсы әсер жасайтындай болып бағытталады. Тыныштықтағы өткізгіштерінде айнымалы магнит өрісі қоршаған ортада құйынды электр өрісін тудырады, қандай да болсын  $L$  тұйық контур арқылы кернеулік векторының циркуляциясы электромагниттік индукцияның ЭҚКін ұсынады:

$$\varepsilon_i = \int_L \vec{E}_B d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Біртекті магнит өрісінде рамканың бірқалыпты айналуы кезінде гармониялық заң бойынша өзгертін айнымалы ЭҚК пайда болады:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\omega \cdot \sin\omega t$$

Мұндағы ЭҚКін максимал мәні:

$$\varepsilon_{\max} = BS\omega \quad (213)$$

сонда:  $\varepsilon_i = \varepsilon_{\max} \sin\omega t$

$$(214)$$

Егер магнит өрісіне еңгізілген рамка арқылы ток жіберсе, онда оған магнит өрісі жағынан айналдырушы моменті әсер етеді  $\vec{M} = IS\vec{n}, \vec{B}$ . Және рамка айнала бастайды да, осы принципке электрқозғалтқыштардың жұмысы негізделген.

Айнымалы магнит өрісіне еңгізілген Өте үлкен тұтас өткізгіштерінде Индукциялық токтар пайда болады, оларды құйынды электр токтары немесе Фуко токтары деп атайды

Тұйық контурда электр тогы магнит өрісін тудырады, оның индукциясы ток шамасына пропорционал, сондықтан контурмен ілініскен магнит ағыны контурдағы ток қа пропорционал:  $\Phi = L I$

Пропорционалдық коэффициенті  $L$  индуктивтілік деп аталады.

Ұзын соленоид индуктивтілігі:

$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l} \quad (215)$$

мұндағы  $N$  - соленоид орам саны,

$l$  - оның ұзындығы,  $S$  - ауданы,

$\mu$  - өзектің магниттік өтімділігі.

Контурдың индуктивтілігі оның геометриялық өлшемдеріне, пішініне және ол орналасқан ортаның магнит өтімділігіне тәуелді.

Өткізгіш контурда ондағы ток күшінің өзгерісі кезінде индукцияның ЭҚКін пайда болуы өздік индукция құбылысы деп аталады. Индуктивтіліктің өлшем бірілігі- генри (Гн).

өздік индукцияның ЭҚКі:

$$\Theta_s = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(LI) \quad (216)$$

Егер контур деформацияланбаса және ортаның магнит өтімділігі өзгермесе, онда  $L = const$ , және өздік индукцияның ЭҚК тең

$$\Theta_s = -L \frac{dI}{dt} \quad (217)$$

Минус таңбасы Ленц ережесімен туындалады, ол контурдағы индуктивтіліктің бар болуы ондағы токтың өзгерісін әлсіретуіне әкеп соғатынын білдіреді.

Кедергісі  $R$  және индуктивтілігі  $L$  контурдық ағыптастағанда токтың лездік емес экспоненциалды заң бойынша өзгеретіндігі пайда боалды:

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (218)$$

мұндағы  $\tau = \frac{L}{R}$  - релаксация уақыты, ток күші  $e$  есе кемитін уақыты.

Ток көзін қосқанда ток экспоненциалды заң бойынша арта байстайды (лездік емес)

$$I = I_0 \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right) \quad (219)$$

Өзара индукция деп бір электр тізбегінде басқа электр тізбегінде токтың өзгерісі немесе осы екі бөліктің өзара орналасуының өзгерісінде пайда болғандағы электромагниттік индукция ЭҚКін пайда болуын айтады.

1 және 2 токтары  $I_1$  және  $I_2$  бір-біріне қатысты жеткілікті жақын орналасқан екі тізбекті қарастырайық. 1 контурда токтың ағып өтуінде екінші контурды тесіп өтетін магнит ағыны:  $\Phi_{21} = L_{21}I_1$ , дәл солай екінші контурдағы ток өзгертін болса, бірінші контурды тесіп өтетін магнит ағыны  $\Phi_{12} = L_{12}I_2$ . Пропорционалдық коэффициенттері  $L_{21}$  және  $L_{12}$  бір-біріне тең  $L_{12} = L_{21} = L$  оны контурдың өзараиндуктивтілігі деп атайды.

Контурдың біреуінде ток өзгерткенде, екіншісінде ЭҚКі индукцияланады:

$$\varepsilon_{i2} = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -L\frac{dI_1}{dt}, \quad \varepsilon_{i1} = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -L\frac{dI_2}{dt} \quad (220)$$

Контурлардың өзараиндуктивтілігі олардың геометриялық пішінімен өлшемдеріне, өзара орналасуына, қоршаған ортаның магнитті өтімділігіне тәуелді.

Тороид тәрізді өзегіне оралған екі катушканың өзараиндуктивтілігі:

$$L = \frac{\Psi}{I_1} = \mu\mu_0 \frac{N_1 N_2}{l} S \quad (221)$$

Айнымалы токтың кернеуін төмендетуге немесе арттыру үшін қолданатын трансформаторлардың жұмыс принциптері электромагниттік индукция құбылысына негізделген. Айнымалы магнит өрісі біріншілік орамында айнымалы  $I_1$  токты туғызады. Ол екінші орамдағы индукцияның ЭҚК тудыруына әкеп соғады. Бұл кезде:

$$\Theta_2 = \frac{N_1}{N_2} \Theta_1 \quad (222)$$

$N_1$  және  $N_2$  -бірінші және екінші орамдағы орам саны.

$$k = \frac{N_2}{N_1} \quad (223)$$

Қатынасы трансформатордың екінші орамдағы ЭҚКі біріншісіндегіден неше есе артық болатындығын көрсетеді, және трансформация коэффициенті деп аталады.

Егер  $k > 1$ , онда трансформатор – төмендеткіш, егер  $k < 1$ , жоғарлатқыш.



Магнит өрісінің энергиясы:

$$W = \frac{LI^2}{2} \quad (224)$$

Соленоидтың магнит өрісінің энергиясы:

$$W = \frac{1}{2} \mu\mu_0 \frac{N^2 I^2}{l} S \quad (225)$$

Магнит өрісінің энергияның көлемдік тығыздығы:

$$\varpi = \frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \frac{BH}{2} \quad (226)$$

### Заттың магниттік қасиеттері

Микроскопиялық токтар – (микротоктар) – атомдары мен молекулалардағы электрондардың қозғалысымен туындалады.

Электрондардың орбиталды магниттік моменті:

$$p_m = IS = evS \quad (227)$$

Егер электрон сағат тіл жүрісімен бағытталса, онда ток сағат тілшенің қарсы бағытында ағып өтеді және  $p_m$  векторы (оң винтті ережесімен сйкес) электрон орбитасы жазықтығына перпендикуляр бағытталған.

Электронның орбиталды механикалық моменті (механикалық импульс меский моменті

$$L_l = mvr = m\omega r^2 = 2mvS \quad (228)$$

мұндағы  $\omega = 2\pi\nu$ , электронның бұрыштық жылдамдығы,  $\pi r^2 = S$ .  
 $\vec{p}$  және  $\vec{L}_l$  векторлар бағыттары қарама-қарсы, сондықтан:

$$\vec{p}_m = evS = -\frac{e}{2m} \vec{L}_l = \Gamma \vec{L}_l \quad (229)$$

мұндағы  $\Gamma = -\frac{1}{2} \left( \frac{e}{m} \right)$  орбиталды моменттерінің гиромангнитті қатынасы деп аталады.

$\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$  - электронның меншікті заряды.

Электрон Спині– бұл меншікті механикалық импульс моменті  $\vec{L}_s$ .

Электрон спиніне спиндік магнит моменті сәйкес келеді  $\vec{p}_{ms}$ . Спиннің  $\vec{B}$  бағытына проекциясы мыналардың тек біреуін қабылдай алады:

$$p_{msB} = \pm \frac{e\hbar}{2m_e} = \pm \mu_B \quad (230)$$

мұндағы  $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,06 \text{ Дж} \cdot \text{с}$ ,  $\mu_B = 9,27 \cdot \frac{10^{-24} \text{ Дж}}{\text{Тл}}$  - Бор магнетоны, электронның магнит моментінің бірлігі болып табылады.

Атом немесе молекуланың жалпы магнит моменті атом(молекулаға)кіретін электрондардың магнит моменттерінің (орбиталды немесе спинді) векторлық қосындысына тең:

$$\vec{p}_a = \sum \vec{p}_m + \sum \vec{p}_{ms} \quad (231)$$

Қандай да болсын зат магнетик болады, яғни сыртқы магнит өрісі әсерінен магнит моментін қабылдап- магниттеліне алады.

Лармор теоремасы: электрондық орбитаға магнит өрісінің әсерін осы орбитаға бұрыштық жылдамдығы  $\Omega$  прецессия берілуіне келтіруге болады

Диаманитті заттар сыртқы магнит өрісінде оған қарама-қарсы бағытта магниттелінеді (например Ag, Au, Cu)

Парамагнитті заттар— сыртқы магнит өрісі әсерінен магнит өрісі бағытымен магниттеледі (пример: редкоземельные металлы, Pt, Al....) олардың магнит моменттері сыртқы өріске еңгізгенде атомдардың (молекулалардың) магнит моменттері өріс бағытымен бағдарланады.

Парамагнетик магниттелініп, өз магнит өрісін туғызып сыртқы магнит өрісіні күшейтеді Парамагнетик күшті өріс аймағына тартылады, ал диаманетиктер – күшті магнит өрісі аймағынан ығыстырылады.

магниттелінуі— магнетиктің бірлік көлемінің магнит моментімен анықталатын векторлық шамасы:

$$\vec{J} = \frac{\vec{P}_m}{V} = \frac{\sum \vec{p}_a}{V} \quad (232)$$

мұндағы  $\vec{P}_m = \sum \vec{p}_a$  -жеке молекулалардың магнит моменттерінің векторлық қосындысына тең магнит моменті.

Заттың магниттік қабылдағыштығы  $\chi$  :

$$\vec{J} = \chi \vec{H} \quad (233)$$

мұндағы ( $\chi$  - өлшмсіз шама)

Диаманетиктер  $\chi$  - теріс( $\chi < 0$  молекулярлы токлардың өрісі сыртқы өріске қарама-қарсы),

Парамагнетиктер-  $\chi$  оң ( $\chi > 0$  молекулярлы токтардың өрісі сыртқы өрісімен дәл келеді

Заттың магнит өтімділігі:

$$\mu = 1 + \chi = \frac{B}{B_0} \quad (234)$$

$B_0$  - вакуумдегі магниттеуіш токпен туғызылған сыртқы өрісі

$B$  - заттағы магнит өрісі.

Диамагнетиктер үшін  $\mu < 1$ , парамагнетиктер үшін  $\mu > 1$ .

*Заттағы магнит өрісі үшін толық ток заңы.* Магнит өрісі индукциясының циркуляциясы:

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint B_l dl = \mu_0 (I + I') \quad (235)$$

$I$  және  $I'$ -кез келген тұйық  $L$ -контурмен шектелген макротоктардың (өткізгіш токтардың) және микротоктардың(молекулярлық токтардың) алгебралық қосындысы,  $\vec{H}$  магнит өрісі туралы циркуляция теоремасы

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = I \quad (236)$$

$$\text{немесе } \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \vec{j} d\vec{S} \quad (237)$$

Сонымен бірге магнит өрісінің кез келген орта үшін толық ток заңы келесі түрде беріледі:

$$\int_L H_l dl = \sum_{i=1}^n I_i \quad (238)$$

### Екі магнетик шекарасындағы шарты

Екі біртекті магнетик шекарасында (магнит өтімділіктері  $\mu_1, \mu_2$ ) өткізгішті тоқтың жоқ болған жағдайында  $\vec{B}$  және  $\vec{H}$  арасындағы байланысын қарастырсақ, тұйық тіктөртбұрыштық контур арқылы  $\vec{H}$  векторының циркуляция теоремасына сәйкес мына өрнектердің жазуға болады:

$$B_{n1} = B_{n2}, \frac{H_{n1}}{H_{n2}} = \frac{\mu_2}{\mu_1}, H_{\tau1} = H_{\tau2}, \frac{B_{\tau1}}{B_{\tau2}} = \frac{\mu_1}{\mu_2}. \quad (239)$$

Яғни екі магнетик шекарасынан арқылы өткенде магнит өрісі  $\vec{B}$  вектордың нормаль ( $B_n$ ) және  $\vec{H}$  вектордың нормаль тангенциал құраушылары ( $H_t$ ) үздіксіз өзгеріп отырады, ал  $\vec{B}$  вектордың тангенциал құраушысы ( $B_t$ ) және  $\vec{H}$  вектордың нормаль құраушысы секірмелі («кұрт өсуі») өзгеріске ұшырайды.

Әлсіз магнитті заттардың диа-парамагнетиктерден басқа күшті магнитті заттар-ферромагнетиктер бар.

Ферромагнетиктер— өздігінен магниттелген күшті магнитті заттар, яғни олар өзінің магниттелу күйін сыртқы магнит өрісінің жоқ болғанында сақтап тұрады.

Ферромагнетиктерде сыртқы магнит өрісін арттырған кезде басында магниттелінуі тез артады, сонан соң қанығуға жетіді  $J_{\text{қанығу}}$ . Магниттелінудің  $J$  магнит өрісінің кернеулігіне  $H$  тәуелділігі магниттелінудің алдында болған жағдайларға тәуелді болады. Бұл құбылысты гистерезис деп атайды.

Егер ферромагнетикті қанығуға дейін жеткізсе, сонан соң магнит өрісін кемітсе, онда  $H=0$  кезінде ферромагнетикте қалдық магниттелінуі қалады. Осыны тұрақты магниттерді жасау кезінде қолданады.

Магниттелінуді нольге дейін кеміту үшін қарама-қарсы бағытпен әсер ететін өрісті келтіру керек-  $H_k$ —бұл күшті коэрцитивті күш деп атайды. Қарама-қарсы әсер ететін өрісті арттыра отырғанда ферромагнетик қайтадан қарама-қарсы өріспен магниттелінеді. Сонан соң оны тағы да магниттеп қанығуға дейін магнитсездендіру керек. Магниттелінудің өзгерісі гистерезис тұзағы деп аталатын қисық көмегімен сызып көрсетуге болады.

Әр бір ферромагнетик үшін өз магнитті қасиеттерін жоғалтатын температурасы бар, оны Кюри нүктесі деп атайды. Осы температурадан жоғары температураға дейін ферромагнетикті қыздырса, ферромагнетик кәдімгі парамагнетикке айналады.

### 3.5. Максвеллдің теңдеулер жүйесі.

Максвелл теориясының бірінші негізгі қағидасы: қандай да болсын айнымалы магнит өрісі қоршаған ортада электр өрісін қоздырады.

Электромагниттік өрістер үшін Максвеллдің теңдеуі

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} \quad (240)$$

Максвеллдің екінші негізгі қағидасы: электр өрісінің қандай да болсын өзгерісі қоршаған ортада құйынды магнит өрісін туғызады.

Максвелл айнымалы электр өрісін ығысу ток деп атады.

$$\text{Ығысу токтың тығыздығы: } \vec{J} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Толық ток – бұл ығысу ток пен өткізгіш токтың қосындысы, толық ток әрқашан да тұйық. Толық токтың тығыздығы:  $\vec{J}_T = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

Электрмагнит өрісін үшін Максвелл жүйесінің екінші теңдеуі ( $\vec{H}$  вектордың циркуляция туралы жалпыланған теоремасы):

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left( \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S} \quad (241)$$

Электромагниттік өрісі үшін Максвелл жүйесінің үшінші теңдеуі ( $\vec{D}$  өрісі үшін Гаусс – Остроградский теоремасы) – көлемдік тығыздығы  $\rho$  тұйық беттің ішінде біркелкі таралған заряд үшін теңдеудің түрі:

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV \quad (242)$$

Максвеллдің 4ші теңдеуі –  $\vec{B}$  өрісі үшін Гаусс – Остроградский теоремасы.

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \quad (243)$$

Материалды теңдеулер:

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}, \vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}, \vec{j} = \gamma \vec{E} \quad (244)$$

мұндағы  $\varepsilon_0$  и  $\mu_0$  – электрлік және магниттік тұрақтылары.

$\varepsilon$  и  $\mu$  – диэлектрлік және магниттік өтімділіктері

$\gamma$  – заттың меншікті өткізгішітігі.

Максвелл теңдеулерінен келесі қорытындыларды жасайды:

- электр өрісін электр зарядтары немесе уақыт бойынша өзгертін магнит өрістері туғызады.

- магнит өрістері немесе қозғалыстағы зарядтарымен(токатрымен) немесе айнымалы электр өрісімен қоздыра алады

- айнымалы электр тогы әрқашанда оны туғызатын электр өрісімен, ал айнымалы электр өрісі оны туғызатын магнит өрісімен байланысты, яғни электр және магнит өрістері бір-бірімен үздіксіз байланысты—олар бір ғана электромагнит өрісін туғызады. Максвелл тендеулер жүйесінің дифференциалды түрлері:

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (245)$$

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho \quad (246)$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (247)$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (248)$$

### 3.6 Айнымалы электр тогы

Орнықтылынған электромагниттік тербелістерін конденсаторы, катушкасы және резисторы бар тізбек арқылы ағып өтетін ток ретінде қарастыруға болады.

Айнымалы электр тогы дегеніміз- уақыт өтуіне сәйкес шамасы жағынан және бағыты жағынан өзгеріп отыратын электр тогы аталады.

Айнымалы токты квазистационарлы (квазиорнықты) деп есептеуге болады, яғни ол үшін тізбектің барлық қималарында ток күшінің лездік мәндерлері бірдей, өйкені олардың өзгерістері жеткілікті баяу болады, ал электромагниттік қоздырулар тізбекте жарық жылдамдыққа тең жылдамдықпен таралады.

«Айнымалы ток» ұғымы жиі уақыт өтуіне сәйкес гармониялық заңға тәуелді болатын токтар үшін қолданылады.

Синусоидалық токтардың, керенулердің, ЭҚКің қандай да болсын уақыттағы лездік мәндері келесі формулаларымен өрнектеледі:

$$\begin{aligned}i_t &= I_m \cos \omega t + \psi_i \\u_t &= U_m \cos \omega t + \psi_u \\e_t &= \Theta_m \cos \omega t + \psi_e\end{aligned}\tag{249}$$

мұндағы  $I_m, U_m, \varepsilon_m$  - ток күшінің, кернеудің және ЭҚКін сәйкес амплитудалық мәндері.

$\psi_i, \psi_u, \psi_e$  - ток, кернеу, ЭҚКін бастапқы фазалары.

Бастапқы фазасы электрлік шаманың  $t=0$  уақыт мезетіндегі электр шаманың лездік мәнін анықтайды.

Электр шаманың лездік мәндері қайталанатын уақыт интервалы период деп аталады  $T$ .

Периодқа кері шамасын айнымалы токтың жиілігі деп атайды

$$\nu = \frac{1}{T} \quad \text{немесе} \quad f = \frac{1}{T}\tag{250}$$

СНГ нің энергетикалық жүйелерінде айнымалы ток жиілігінің стандартты мәні  $f = 50 \text{ Гц}$ .

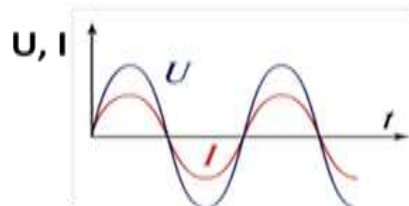
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad \text{шамасын бұрыштық жиілігі деп атайды және}\tag{251}$$

радиан/секунд өлшем бірлігімен өрнектейді.

Косинус аргументін, яғни  $\omega t + \psi$  шамасын-фаза деп атайды.

*Айнымалы токтың тізбегіндегі резистор.*

Омдық кедергісі  $R$  кедергісі болатын айнымалы ток тізбегін қарастырамыз (1 сурет).



Сурет 1 Айнымалы ток тізбегіндегі резистор

Тізбек ұштарына айнымалы электр кернеуі келтірілген болсын.

$$U_R = U_{mR} \cos \omega t \quad (252)$$

Ом заңын пайдаланып ток күші үшін келесі өрнекті аламыз:

$$I = \frac{U_{mR}}{R} \cos \omega t = I_m \cos \omega t \quad (254)$$

мұндағы  $I_m = \frac{U_{mR}}{R}$

- ток күшінің амплитудасы.

Сонда ток пен кернеу бірдей тербеліс фазасымен өзгеретіндігі шығады, оны векторлық диаграмма түрінде ұсынады.

Диаграммада  $U_{mR}$  и  $I_m$  амплитудалары бір бағытпен бағытталған векторлар түрінде ұсынылады, сағат тілше жүрісіне қарама-қарсы бірқалыпты бұрыштық жылдамдықпен  $\omega$  айналады. Осы векторлардың «ток» (горизонталь түзу сызық) осіне проекциялары ток пен кернеудің лездік мәнін береді.

1) Айнымалы ток тізбегіндегі индуктивтілік катушка.

Индуктивтілігі  $L$ , омдық кедергісі нольге тең катушканы қарастырамыз. Айнымалы ток тізбек ұштарындағы кернеу мына түрде өрнектеледі (яғни катушканы айнымалы ток тізбегіне қосқан кезде):

$$U_L = U_{mL} \cos \omega t \quad (255)$$

Тізбек бөлігі үшін Ом заңын жазып аламыз:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \varepsilon - I R + r \quad (256)$$



мұндағы  $R+r=0$  болғандықтан

$$U_L = \varphi_1 - \varphi_2 = \varepsilon \quad (257)$$

:

бұл формулада  $\varepsilon$  тек қана өздік индукцияның ЭҚК болытындығын ескеру керек, өйткені сыртқы ток көзінің ЭҚКі  $ab$  участкесіне кірмейді.

Ом заңына сәйкес кернеу үшін өрнекті қойыпаламыз:

$$U_{mL} \cos \omega t = L \frac{dI}{dt} \quad (258)$$

Айнымаларын бөліп тастап интегралдаймыз:

$$dI = \frac{U_{mL}}{L} \cos \omega t dt \quad (259)$$

$$\int dI = \frac{U_{mL}}{L} \int \cos \omega t dt \quad (260)$$

$$\text{осыдан } I = \frac{U_{mL}}{L\omega} \sin \omega t + const \quad (261)$$

Тұрақты мүшесі нольге тең, өйткені тізбекте тек қана айнымалы кернеу ғана әсер етеді және ток күшінің тұрақты құраушысының тууына себеп жоқ. Соңғысында аламыз

$$I = \frac{U_{mL}}{L\omega} \sin \omega t = I_m \cos \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (262)$$

мұндағы  $I_m = \frac{U_{mL}}{\omega L}$  ток күшінің амплитудасы

Ток күшінің фазасы  $\left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)$ , ал кернеу фазасы  $\frac{\pi}{2}$ .

Тұрақты ток тізбегі үшін Ом заңымен салыстыра отырып

$$X_L = L\omega \quad (263)$$

өрнегі тізбек кедергісінің ролін атқарады, оны индуктивтілік кедергі деп атаймыз.

Бұл кедергі  $U_{mL}$  мен бірге ток күшінің амплитудасын анықтайды:  $\omega$  жиілігі және индуктивлігі  $L$  неғұрлым артық болса, соғұрлым  $I_m$  аз болады.

Егер тізбекте тек қана индуктивтілік кедергісі ғана болса, онда жылу бөлінбейді, өйткені  $R=0$ . Катушкада тек қана магнит өрісінің энергиясы жинақталады да, осы энергияны ток көзіне қайтарады. Сонымен ток көзінен

тізбекке, тізбектен ток көзіне энергия периодты түрде аусып отырады, идеал жағдайда энергия ығыны болмайды.

2) Конденсаторы қосылған айнымалы ток тізбегі

Омдық кедергісі шексіз үлкен, электр сыйымдылығы  $C$  конденсаторы қосылған айнымалы ток тізбегін қарастырамыз.

Тізбектің  $ab$  ұштарындағы кернеу келесі тәуелдікпен өрнектеледі:

$$U_C = U_{mC} \cos \omega t \quad (264)$$

Тізбектегі ток күші конденсатор астарларындағы зарядтың өзгеріс жылдамдығымен анықталады.

Электрсыйымдылық үшін сәйкестіктерді пайдаланып табамыз:

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{d CU_C}{dt} = \frac{CdU_C}{dt} \quad (265)$$

Ток үшін мынаны жазуға болады:

$$I = -U_{mC} \sin \omega t = I_m \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (266)$$

мұндағы

$$I_m = U_{mC} C \omega \quad (267)$$

Ток күшінің фазасы  $\left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right)$ , ал кернеудің фазасы  $\frac{\pi}{2}$ . Демек, ток күші кернеуді  $\frac{\pi}{2}$  фазаға озып кетеді. Айнымалы тізбек бөлігі үшін Ом заңымен салыстыра отырып:

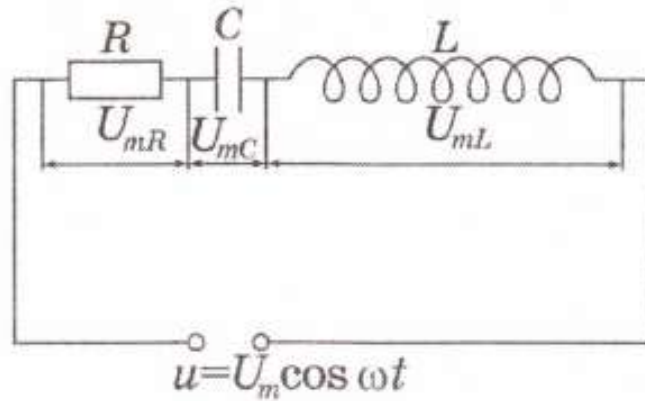
$$X_C = \frac{1}{C\omega} \quad (268)$$

өрнегі *тізбектің кедергі* ролін атқарады. Оны *сыйымдылық кедергі* деп атайды. Ол ток күшінің амплитудасын анықтайды:  $C$  электрсыйымдылық пен  $\omega$  жиілік неғұрлым аз, соғұрлым ток күші  $I_m$  аз болады. Тұрақты ток үшін сыйымдылық шексіз үлкен кедергі болып табылады және ондай тізбекте ток болмайды.

Бұл жағдайда тізбекте жылу мөлшері бөлінбейді, өйткені өткізгіштердің кедергілері нольге тең. Диэлектриктердің айнымалы электр өрісінде қызуы есепке алынбайды. Конденсатордың ролі электр өрісінің энергия жинақталуына және осы энергияның кері ток көзіне қайтаруға әкеп соғады. Идеалданған жағдайда энергия шығынсыз, ток көзінен тізбекке және тізбектен ток көзіне периодты энергия қотарылуы пайда болады.

3) Айнымалы ток тізбектріндегі толық кедергісі.

Тізбекте резистор, индуктивті катушка және конденсатор тізбектей қосылудың тізбегін қарастырайық. Сыртқы ток көзімен туғызылған  $ab$  тізбектің ұштарындағы кернеу жоғарыдағыдай амплитудасы  $U_m$ , гармониялық заң бойынша өзгеріп отырады деп есептейміз. 2 суретте айнымалы ток тізбегіне тізбектей резистор, конденсатор, индуктивті катушка қосылған тізбегі келтірілген.



Сурет 2- R,L,C тізбек

Тізбек ұштарындағы кернеу шамасы

$$U = U_m \cos \omega t \quad (269)$$

Жалпы жағдайда тізбектегі ток күші және кернеу бір фазада емес өзгеріп отырады, сондықтан

$$I = I_m \cos \omega t - \varphi \quad (270)$$

мұндағы  $\varphi$  - кернеу ең ток күші арасындағы фаза айырымы.

Тізбектің жеке бөліктеріндегі кернеудің қосындысы сыртқы келтірілген кернеу шамасына тең:

$$U = U_m \cos \omega t = U_R + U_L + U_C \quad (271)$$

Жоғарыдағы келтірілгенімен сәйкес оны мына түрде де жазуға болады:

$$U_R = U_{mR} \cos \omega t - \varphi \quad (272)$$

$R$  кедергідегі кернеу шамасы токпен фаза жағынан сәйкес келіп тұр.

$$U_L = U_{mL} \cos\left(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}\right) \quad (273)$$

Индуктивтілігі  $L$  катушкадағы кернеу тоқты фаза жағынан озып кетеді.

$$U_C = U_{mC} \cos\left(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}\right) \quad (274)$$

- конденсатордағы кернеу шамасы ток күшінен фаза жағынан артта қалады.

Кернеулер қосындысын сәке тригонометриялық түрлендіргіштер жасап болған соң табуға болады, бірақ жеңілрек және көрнекілікті оны векторлық диаграммалар арқылы жасауға болады.

Ток өсі бойынша ток күшінің амплитудасы бағытталған  $I_m$ . Барлық тізбектегі ток күшінің амплитудасы бірдей болғандықтан, онда кернеулер амплитудаларын осы вектор қатысты құрастырамыз: вектор  $U_{mR}$  - ток күшімен бір фазада, вектор  $U_{mL}$  - фаза жағынан  $\frac{\pi}{2}$  озып кетуімен, вектор  $U_{mC}$  - ток күшінен  $\frac{\pi}{2}$  фазадан артта қалуымен саламыз. Үш векторды қосып графикалы  $U_m$  және  $\varphi$  табамыз. Пифагор теоремасын пайдаланып, аламыз

$$U_m^2 = U_{mR}^2 + U_{mL}^2 - U_{mC}^2 \quad (275)$$

Осыдан, Ом заңын ескере отырып, табамыз:

$$I_m^2 Z^2 = I_m^2 R^2 + \left(I_m L \omega - \frac{I_m}{C \omega}\right)^2 \quad (276)$$

мұндағы  $Z$  - айнымалы ток тізбегінің толық кедергісі, импеданс деп аталады.

Импедансты келесі формуламен табамыз:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + X_L - X_C^2} \quad (277)$$

Тізбектің омдық кедергісін  $R$  активті кедергі деп атайды, ол Джоуль-Ленц заңымен сәйкес тізбекте жылудың бөлінуін себептеледі.

Индуктивті және сыйымдылықты кедергілердің айырымын

$$X_L - X_C \quad (278)$$

Реактивті кедергі деп атайды. Ол тізбек элементтерінің қызуын туғызбайды.

Тізбектегі ток күшімен кернеу амплитудаларына Ом заңын қолдана отырып:

$$I_m = \frac{U_m}{Z} = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + X_L - X_C^2}} \quad (279)$$

$\varphi$  үшін де өрнек табамыз

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_{mL} - U_{mC}}{U_{mR}} = \frac{I_m L \omega - \frac{I_m}{C \omega}}{I_m R} = \frac{L \omega - \frac{1}{\omega C}}{R} = \frac{X_L - X_C}{R} \quad (280)$$

Егер тізбектің индуктивті және сыйымдылықты кедергілер олардың тізбектей қосылуы кезінде бірдей болса

$$X_L = X_C \quad (281)$$

онда

$$Z = R \quad (282)$$

Бұл ток күші мен келетірілген кернеу бір фазада тізбекте тек қана омдық кедергі қосылғандай өзгереді. Индуктивті катушка мен конденсатордағы кернеулері амплитудалары жағынан бірдей, ал фазалары жағынан қарама-қарсы. Осындай мәжбүр етуші электрлік тербелістер жағдайлары кернеу резонансы деп аталады.

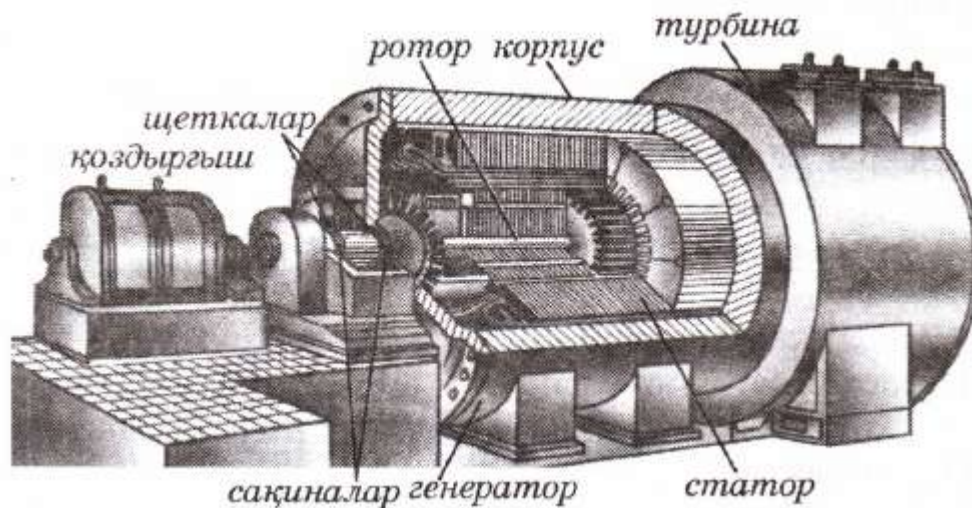
$$U_{mL} = U_{mC} \quad (283)$$

Индуктивті катушка мен сыйымдылық конденсатор ұштарындағы кернеу шамалары бірдей болғандықтан резонанстық дөңгелектік жиілігін табамыз:

$$\omega_{\text{рез.}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (284)$$

Осы шарты орныдалатын кезінде тізбектің толық кедергісі ең аз мәніне ие болады және  $R$  тең. ( $R, L, C$  тең болса), ал ток күші ең үлкен сан мәніне жетеді. Сондықтан осы құбылысты айнымалы токтың резонанс құбылысы деп атайды.

Айнымалы ток генераторы 3 суретте көрсетілген.



Сурет 3- Айнымалы ток генераторы

**Ток генераторы** деп энергияның қандай да бір түрін электр энергиясына айналдыратын қондырғыны айтады. Электростатикалық машиналар, термобатареялар, күн батареялары, тағы басқа генераторға жатады. Қазіргі кезде айнымалы токтың электромеханикалық индукциялық генераторлары өте кең таралған. Бұл генераторлардың артықшылығы — олардың құрылысының қарапайымдылығында және жеткілікті түрде жоғары кернеу мен үлкен токтарды алу мүмкіншілігінде. Электромеханикалық индукциялық генераторларда механикалық энергия электр энергиясына айналады. Мұндай генератор құрылысының принциптік жобасын қарастырып, магнит өрісінде айналып тұрған сым орамада айнымалы индукциялық ЭҚК-інің пайда болатынын айтып өткенбіз. Токты сыртқы тізбекке шығару үшін сақиналарға жабыстырып қойған щеткалар қолданылады. Кез келген индукциялық генератордың негізгі бөліктері мыналар:

- 1) индуктор — магнит өрісін тудыратын қондырғы. Бұл тұрақты магнит не электромагнит болуы мүмкін;
- 2) якорь — ЭҚК индукцияланатын (пайда болатын) орама;
- 3) щеткалар мен сақиналар — айналып тұрған бөліктерден индукциялық токты шығарып алатын немесе электромагниттерге қоректенетін ток беретін қондырғылар.

### 3.7 Электромагниттік толқындар

Электромагнитті толқындар – кеңістікте шеткі жылдамдықпен таралатын айнымалы электромагнитті өрісі.

Электр өрісінің  $\vec{E}$  кернеулік векторы үшін:

$$\Delta \vec{E} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (285)$$

$\vec{H}$  Вектор үшін толқындық теңдеуі :

$$\Delta \vec{H} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (286)$$

Электромагнитті толқынның фазалық жылдамдығы:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}} \quad (287)$$

Вакуумдегі жарық жылдамдығы:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \quad (288)$$

Электромагниттік толқындардың заттағы таралу жылдамдығы вакуумдегі жылдамдығынан әр қашанда аз.

$\vec{E}$  және  $\vec{H}$  электр және магниттік өрістерінің кернеуліктері өзара перпендикуляр және толқынның таралу жылдамдық  $\vec{v}$  векторына перпендикуляр, демек  $\vec{E}, \vec{H}, \vec{v}$  векторлары оң винтті жүйесін құрады.

Электромагниттік толқынында  $\vec{E}$  және  $\vec{H}$  векторлары бірдей фазада тербеліс жасайды да қандай да болсын нүктесінде  $E$  және  $H$  лездік мәндері келесі сәйкестікпен байланысқан

$$\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} E = \sqrt{\mu_0 \mu} H \quad (289)$$

Ортаның сыну көрсеткіші деп  $n$  электромагниттік толқынның вакуумдегі таралу  $c$  жылдамдығының олардың ортадағы фазалық жылдамдығына қатынасы аталады

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon \mu} \quad (290)$$

Электромагниттік толқын энергиясының көлемдік тығыздығы.

$$\varpi = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \sqrt{\varepsilon \mu} E H \quad (291)$$

Электромагниттік толқынның энергия ағын тығыздығының векторы (Умов – Пойтинг векторы)

$$\vec{S} = [\vec{E}, \vec{H}] \quad (292)$$

$$S = \varpi v = E H \quad (293)$$

Электромагниттік толқынның интенсивтілігі (қарқындылығы) сан жағынан бірлік уақыт ішінде бірлік аудан арқылы өтетін толқының таралу бағытына перпендикуляр (нормал) энергиясына тең.

Электромагниттік толқынның қарқындылығы (интенсивтілігі) оның амплитуда квадратына тура пропорционал.

$$I = \langle \vec{S} \rangle \quad (294)$$



## 4 Толқындық оптика. Фотометрия

### 4.1 Жарық Интерференциясы

Жарық интерференциясы – кеңістікте екі немесе бірнеше когерентті жарық толқындардың қосылуы, бұл кезде оның әр бір нүктесінде қорытқы толқынның күшейтуі немесе әлсіретуі пайда болады.

Ортадағы жарықтың жылдамдығы:  $v = \frac{c}{n}$  мұндағы  $c$  – вакуумдегі жарықтың жылдамдығы,  $n$  – ортаның абсолютті сыну көрсеткіші.

Сәуленің оптикалық жол ұзындығы,  $L = nl$  мұндағы  $l$  – сыну көрсеткіші  $n$  ортадағы сәуленің геометриялық жол ұзындығы. Егер бір сәуле сыну көрсеткіші  $n_1$  ортада  $l_1$  жол ұзындығын өтсе, ал басқа сәулесі сыну көрсеткіші  $n_2$  ортада  $l_2$  жол жүріп өтсе, онда осы сәулелердің оптикалық жол айырымы:  $\Delta = n_1 l_1 - n_2 l_2$

Оптикалық жол айырымы интерференцияланатын толқындардың фазалар айырымы келесі сәйкестіпен байланысқан:  $\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda}$ , мұндағы  $\lambda$  – вакуумдегі жарық толқынның ұзындығы.

Интерференция нәтижесінде жарықтың максимал күшейтудің шарты (**жарық интерференциясының максимумы**):  $\Delta = \pm k\lambda$ , ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ).

Жарықтың әлсіретудің шарты (**жарық интенсивтілігінің минимумы**):  $\Delta = \pm 2k + 1 \frac{\lambda}{2}$ .

Егер интерференцияланатын жолақтар жұқа жазықпараллель платиналар мен қабықшаларда (ауада орналақсан) өткінші жарықта бақыланатын болса, онда интерференцияланатын толқындардың оптикалық жол айырымы келесі формуламен анықталады:  $\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1}$ , немесе  $\Delta = 2dn \cos i_2$ , мұндағы  $d$  – қабықша ені,  $n$  – қабықша заттың сыну көрсеткіші,  $i_1$  – түсу бұрышы,  $i_2$  – сыну бұрышы.

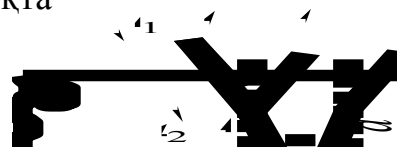
Егер интерференциондық жолақтар шағылған жарықта бақыланатын болса, онда оптикалық жол айырымын анықтау кезінде оптикалық тығызды ортадан жарықтың шағылу кезінде сәулелердің жарты толқын ұзындығына өзгерісін ескеру керек.

Жол айырымы формулалары бұл жағдайда келесі формуламен анықталады:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} + \frac{\lambda}{2}, \text{ немесе } \Delta = 2dn \cos i_2 + \frac{\lambda}{2}$$

Шағылған жарықтағы Ньютон ашық сақиналардың радиустары (немесе өткінші жарықтағы құра):  $r_k = \sqrt{2k - 1} R \frac{\lambda}{2}$ , мұндағы  $k$  – сақина нөмірі ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ),  $R$  – жазықпараллель шыны пластинамен түйісіп тұрған линза бетінің қисықтық радиусы

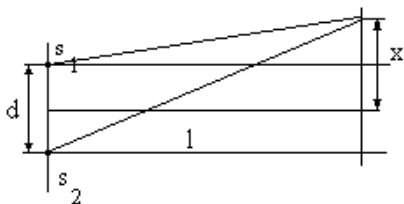
Шағылған жарықтағы қараңғы сақиналардың радиустары (немесе өткінші жарықта ашық) формулаларымен есептелінеді:  $r_k = \sqrt{kR\lambda}$



Когеренттілік дегеніміз уақыт өтуіне сәйкес кеңістікте бірнеше тербелістердің немесе толқындардың сәйкес өтуі. Когерентті толқындардың жиіліктері бірдей  $\nu_1 = \nu_2 = \dots = \nu_n$ , фазалар айырымы тұрақты  $\Delta\varphi = const$ .

Монохромат толқындар – тек қана бір толқын ұзындықты немесе бір жиілікті толқындар – олар когерентті болып табылады.

Екі саңылаудан интерференциондық бейне есебі.  $S_1$  және  $S_2$  екі саңылау бір-бірінен  $d$  қашықтықта орналасып когерентті болып табылады. Экран



саңылауларға параллель және  $l \gg d$  қашықтықта орналасқан. Қандай да болсын нүктедегі интенсивтілік (қарқындылық) жол айырымымен анықталады:  $\Delta = xd/l$ ,

**Максимумдардың орны:**

$$x_{\max} = \pm m \frac{l}{d} \lambda_0, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

**Минимумдар орны**  $x_{\min} = \pm (m + \frac{1}{2}) \frac{l}{d} \lambda_0, \quad m = 0, 1, 2, \dots$

Көршілес екі максимумдар (минимумдар) арасындағы қашықтығы  $\Delta x$  интерференционды жолақтың ені деп аталады:  $\Delta x = \frac{l}{d} \lambda_0$ . Оптиканың

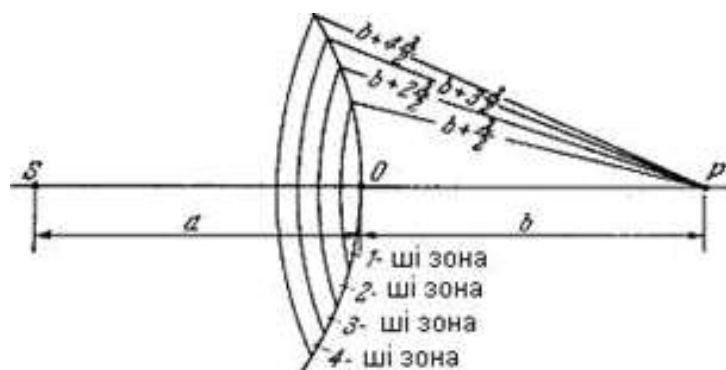
«ағарту» ( $m = 0$  кезінде), сәулелердің бір-бірін бөшіруі  $nd = \frac{\lambda}{4}$ , шартында пайда болады,  $n$  - қабықшаның сыну көрсеткіші.

## 4.2 Жарық дифракциясы

**Дифракция деп** жарық сәулелерінің түзу тарау бағытынан ауықту құбылысын атайды, немесе жолында тұрған бөгеттерді орап өту құбылысы немесе геометриялық оптика заңдарының қандай да болсын ауытқуы

**Гюйгенс – Френель принципі**, қандай да болсын  $S$  жарық көзімен қоздырылған жарық сәулесі екінші ретті (фиктивті) жарық көздері шығарған когерентті толқындардың суперпозиция (қабаттасу) нәтижесі ретінде ұсынылады.

Жарық дифракциясын қарастырудың бір тәсілі Френель зоналары, 4 суретте келтірілген.



Сурет 4- Френель әдісі

Мұндағы  $S$  толқын беттері  $P$  түзуімен салыстырғанда симметриялы. Толқын бетін сақиналық аудандар - Френель зоналарына бөлейік, ол үшін центрі бір осьте жатқан шеңберлер жүргізейік. Шеңберлерден  $P$  нүктесіне дейінгі қашықтықтарды бір-бірінен жарты толқын ұзындығына  $1/2$ -ге артық болатындай етіп салайық.

$k$ -ші Френель зонаның радиусы:

а) вжазық толқындық бет жағдайында:  $\rho_k = \sqrt{kb\lambda}$ , мұндағы  $\rho$  - зона радиусы,  $k$  - оның нөмірі ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ),  $b$  - мөлдір емес экранның дөңгелек тесігінен бақылау нүктесіне дейінгі қашықтық,  $\lambda$  - жарық толқын ұзындығы;

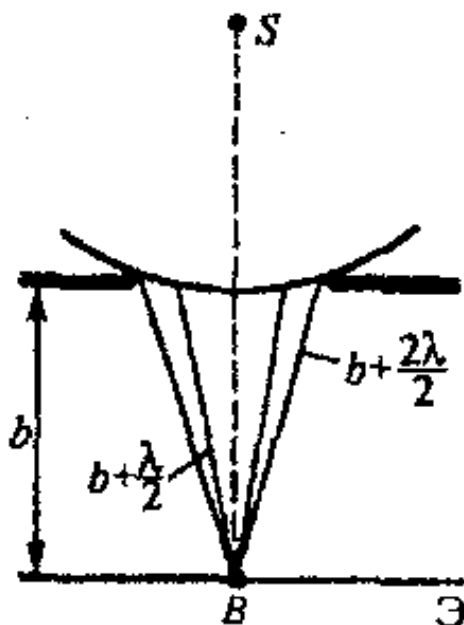
б) сфералық толқын үшін:  $\rho_k = \sqrt{\frac{ab}{a+b} k \lambda}$ , мұндағы  $a$  - дөңгелек тесігі бар диафрагмадан нүктелік жарық көзіне дейінгі қашықтық,  $b$  - дифракциялық бейне көрінетін диафрагмадан экранға дейінгі қашықтық.

1) Френельдің барлық зоналардың аудандары бірдей және келесі формуламен анықталады  $\sigma = \frac{\pi ab \lambda}{a + b}$

### Тоғысатын сәулелер дифракциясы (Френель дифракциясы).

Тоғысатын сәулелер дифракциясы (Френель дифракциясы) – дегеніміз дифракцияны тудыратын бөгет пен дифракциялық бейненің арасы онша алыс болмаған кезде бақыланатын сфералық толқындардың дифракциясы.

**Жарықтың дөңгелек саңылаудан (тесіктен) өткенде дифракциялануы.**(сурет 5).

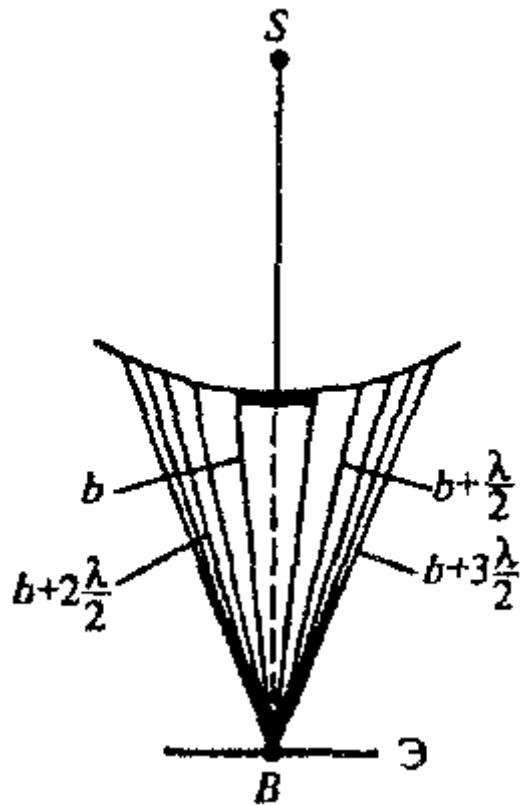


Сурет 5-Дөңгелек саңылаудағы жарық дифракциясы

$S$  жарық көзінен таралатын сфералық толқын жолына дөңгелек саңылауы бар экран қоялық. Дифракциялық бейненің түрі осы саңылауға сиятын Френель зоналарының санына тәуелді.  $\mathcal{E}$  экранның  $B$  нүктесіндегі жарық амплитудасы  $A = A_1/2 \pm A_m/2$ , мұндағы «қосу» белгісі саңылау Френель зоналарының  $m$  тақ санын ашқанда жазылады, ал «алу» белгісі саңылау Френель зоналарының  $m$  жұп санын ашқанда жазылады.

Дифракциялық бейненің пішіні мен түрі центрі  $B$  нүктесінде кезектесіп орналасқан қара қоңыр және жарық (ақ) сақиналар сияқты болады (егер  $m$  жұп болса, онда орталық сақина қара қоңыр болады, егер  $m$  тақ болса, онда орталық сақина ақ болады).

*Жарықтың дискте дифракциялануы.*



Сурет 6- дисктегі жарық дифракциясы

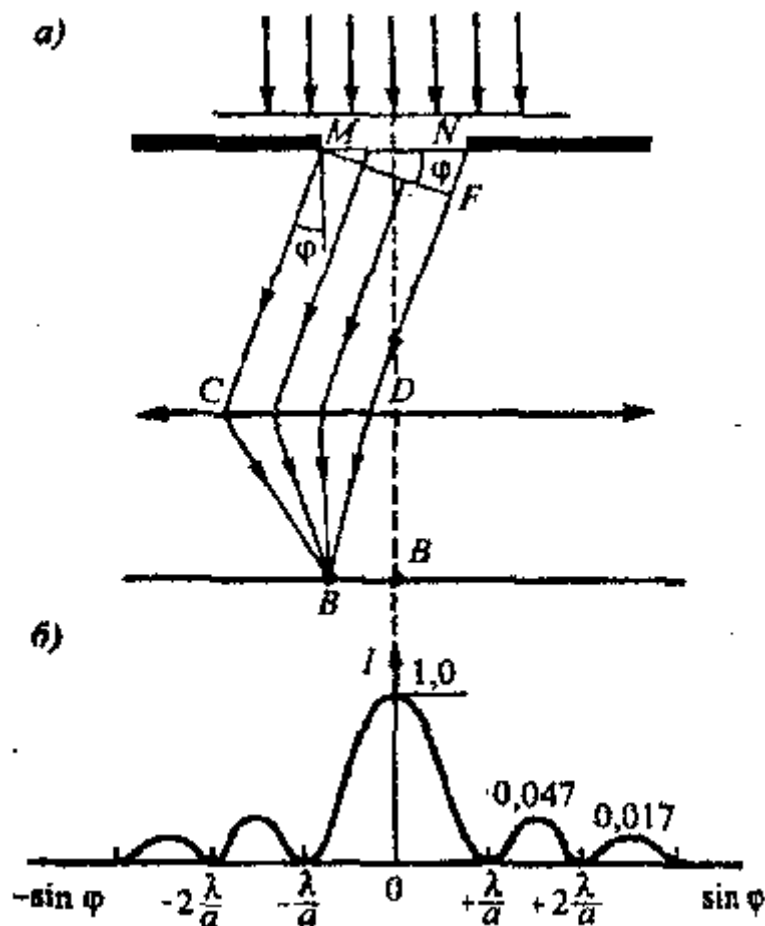
$S$  нүктелік жарық көзінен (сурет 6) таралатын сфералық толқын алдына диск қойылсын. Егер диск Френель зоналарының алғашқы  $m$  зонасын жабатын болса, онда  $\mathcal{E}$  экранның  $B$  нүктесінде тербеліс амплитудасы:

$$\begin{aligned}
 A &= A_{m+1} - A_{m+2} + A_{m+3} - \dots = \\
 &= A_{m+1}/2 + (A_{m+1}/2 - A_{m+2} + A_{m+3}/2) + \dots = \\
 &= A_{m+1}/2
 \end{aligned}$$

Демек,  $B$  нүктесінде эрқашан бірінші ашық Френель зоналарының әсерінің жартысына сәйкес келетін интерференциялық максимум бақыланады. Орталық максимум айналасында қара қоңыр және ақ концентрлік сақиналар орналасады.

**Параллель сәулелердің дифракциясы (Фраунгофер дифракциясы).**

**Фраунгофер дифракциясы** жарық көзі мен бақылау нүктесі дифракцияны тудыратын бөгеттен шексіз алыс болған жағдайда бақыланады. Параллель сәулелер шоғын әдетте нүктелік жарық көзін жинағыш линзаның фокусына орналастыру арқылы алады. Ал дифракциялық бейнені екінші жинағыш линзаны бөгеттен кейін орналастырып, экранда жинау арқылы алады (сурет 7).



Сурет 7-Фраунгофер дифракциясы

Жазық монохромат толқынның Фраунгофер дифракциясын қандайда бір шексіз ұзын ені  $a=MN$  тең саңылаудан қарастыралық. Шеткі  $MC$  және  $ND$  сәулелері арасындағы оптикалық жол айырымы (суретке қараңыз):

$$\Delta = NF = a \sin \varphi$$

$MN$  толқындық беттің ашық бөлігін саңылаудың  $M$  қабырғасына параллель етіп Френель зоналарына бөлеміз. Әр зонаның ені осы зоналардың шеттерінен есептелінген жол айырымы  $\lambda/2$  тең болатындай етіп алынады, сол себепті саңылауға  $\Delta: \lambda/2$  зона сияды.

Саңылау орналасқан жазықтықта толқындық фронттың барлық нүктелерінің фазасы мен тербеліс амплитудалары бірдей болады. Сол себепті, кез келген екі көршілес Френель зоналарынан таралған қорытқы тербеліс интенсивтілігі нольге тең болады. Осының нәтижесінде:

1) егер Френель зоналарының саны жұп болса, онда

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

- **дифракциялық минимум шарты** (толық қараңғы)

2) егер Френель зоналарының саны тақ болса, онда

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

-компенсацияланбаған бір Френель зонасының әсеріне сәйкес келетін **дифракциялық максимум шарты**.

$\varphi=0$  бағытта саңылау бір Френель зонасы сияқты әсер етеді және бұл бағытта жарық ең үлкен интенсивтілігімен таралады – **орталық дифракциялық максимум**.

Амплитуда максимум немесе минимум болатын бағыттарда төменгі шарттар орындалады:

$$\sin \varphi_{\max} = \pm \frac{(2m+1)\lambda}{2a} \quad \sin \varphi_{\min} = \pm \frac{m\lambda}{a}$$

Дифракция нәтижесінде жарық интенсивтілігінің экранда үлестірілуі (таралуы, жіктелуі) **дифракциялық спектр** деп аталады. (сурет (б)).

Орталық және келесі максимумдардың арасындағы қатынасы 1:0,047:0,017:0,0083:... яғни жарық энергиясының негізгі бөлігі орталық максимумда шоғырланған.

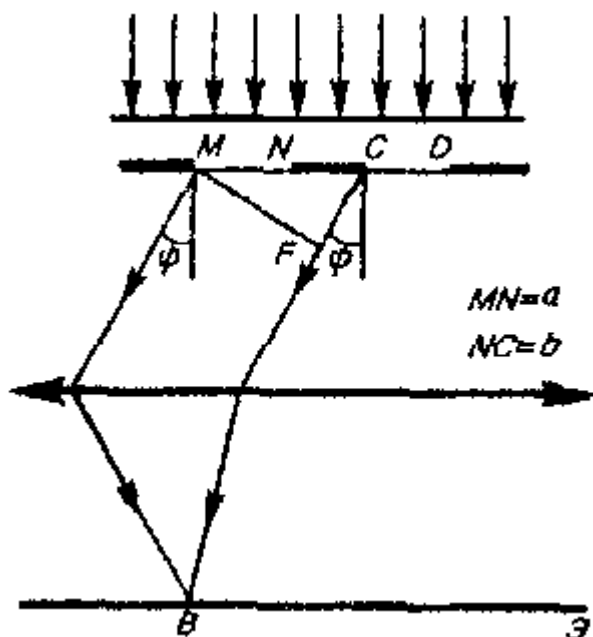
Дифракциялық максимумдардың орналасуы  $\lambda$  - ға тәуелді. Саңылауға ақ жарық түскенде орталық максимум ақ жолақ ретінде бақыланады ( $\varphi=0$  болғанда, барлық  $\lambda$  үшін жол айырымы нольге тең) – ол барлық толқын ұзындықтарына ортақ. Орталық максимумның екі жағында орналасқан максимумдар түрлі түсті боялады, күлгін түстен басталып қызыл түспен бітеді (себебі  $\lambda_{\text{күлгін}} < \lambda_{\text{қызыл}}$ ).

#### **Дифракциялық тордағы Фраунгофер дифракциясы.**

Бірөлшемді дифракциялық тор – бір жазықтықта жататын және мөлдір емес аралықтармен бөлінген ені бірдей өзара параллель орналасқан саңылаулар жиыны.

Әр саңылаудың дифракциялық спектрінде жарық интенсивтілігінің үлесуі (таралуы) дифракцияланған сәулелер мен дифракциялық бейненің бағытымен анықталады. Ал әр саңылау арқылы пайда болған дифракциялық бейне бірдей болады.

Қорытқы дифракциялық бейне – барлық саңылаулардан таралатын толқындардың өзара интерференциялануының нәтижесі. Дифракциялық торда барлық саңылаулардан шыққан когерентті дифракцияланған жарық шоғының көпсәулелі интерференциясы байқалады.(сурет 8)



Сурет 8-Дифракциялық тордағы дифракция

Егер  $a$  - әр саңылаудың ені болса,  $b$  – саңылаулар арасындағы мөлдір емес бөлігінің ені болса, онда  $d=a+b$  шамасы **дифракциялық тордың тұрақтысы (периоды)** деп аталады.

$d = \frac{1}{N_0}$  |  $N_0$  - бірлік ұзындыққа келетін саңылаулар саны.  
Екі көршілес саңылаулардан шыққан сәулелердің жол айырымдары  $\Delta$  берілген  $\varphi$  бағытында дифракциялық тордың бойында бірдей болады:

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

Ал саңылаулардың біреуі де жарық таратпайтын бағыттарда, жарық екі саңылаудан да тарамайды, яғни интенсивтіліктің **бұрынғы (негізгі немесе бас) минимумдары**  $a \sin \varphi = \pm m \lambda$  ( $m = 1, 2, 3, \dots$ ) бағытында бақыланады. Бұдан басқа екі көршілес саңылаулардан шыққан жарық сәулелерінің  $d \sin \varphi = \pm (2m + 1) \lambda / 2$  шартымен анықталатын бағытта өзара интерференциялану нәтижесінде екі сәуле бір-бірін жояды - осының салдарынан **қосымша минимумдар пайда болады**. Керісінше, егер бір саңылаудың әсері екінші саңылаудың әсерін күшейтсе, онда  $d \sin \varphi = \pm 2m \lambda / 2$  ( $m = 1, 2, 3, \dots$ ) шарты орындалады – **негізгі максимумдар шарты**.

Жалпы жағдайда, егер дифракциялық торда  $N$  саңылау болса, онда:

- **негізгі максимумдар шарты:**  $d \sin \varphi = \pm m \lambda$  ( $m = 1, 2, 3, \dots$ )
- **негізгі минимумдар шарты:**  $a \sin \varphi = \pm m \lambda$  ( $m = 1, 2, 3, \dots$ )
- **екі негізгі максимумдар арасында  $N-1$  қосымша минимумдар**

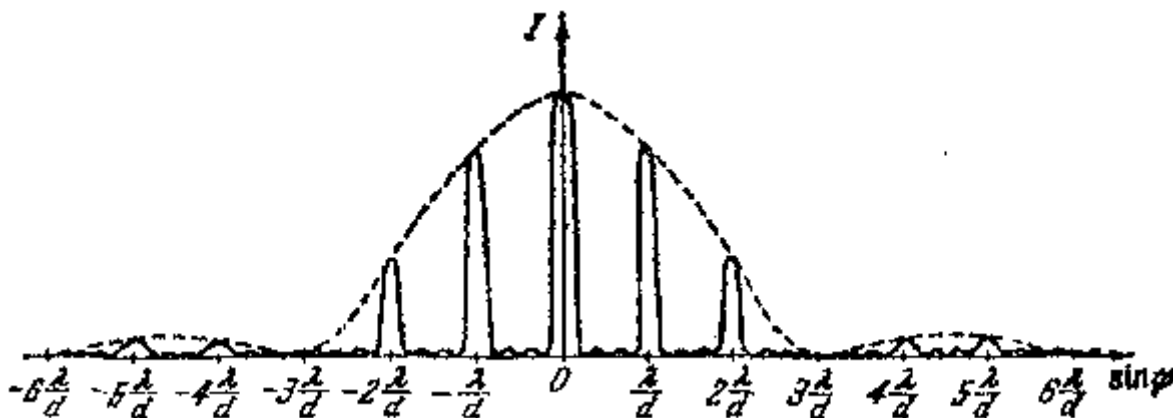
орналасады. Бұл минимумдар әлсіз фон жасайтын екінші ретті максимумдармен бөлінген. Қосымша минимумдардың шарты:

$$d \sin \varphi = \pm m' \lambda / N$$



(мұндағы  $m'$  -  $0, N, 2N$  - нен басқа барлық бүтін мәндерді қабылдайды, егер  $m'$  -  $0, N, 2N$  мәндерін қабылдаса, минимум шарты негізгі максимумдар шартына өтеді).

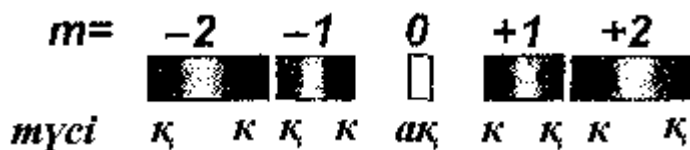
Негізгі максимум амплитудасы әр саңылаудан шыққан тербеліс амплитудалардың қосындысы  $A_{max}=NA_1$ . Сол себепті негізгі максимумның интенсивтілігі негізгі максимумның бағытында бір саңылаудан түзілген  $I_1$  интенсивтіліктен  $N^2$  есе артық:  $I_{max}=N^2I_1$ . Мысалы, суретте  $N=4$  үшін дифракциялық бейне көрсетілген. Пунктирмен сызылған қисық бір саңылаудың  $N^2$ -на көбейтілген интенсивтілігін көрсетеді. (сурет 9)



Сурет 9-Саңылаулар жиынтығындағы дифракция

Негізгі максимумдардың орны толқын ұзындығына тәуелді, сондықтан тордан ақ жарық өткенде ( $m=0$ ) орталық максимумнан басқа максимумдар спектрге жіктеледі. Ал осы спектрлердің күлгін бөлігі дифракциялық бейненің центріне қарай, қызыл бөлігі сыртқа қарай орналасады. Осы себептен дифракциялық тор жарықты спектрге бөлу үшін және толқын ұзындығын өлшеу үшін спектрлік құрал ретінде қолданылады.

Дифракциялық тордың беретін негізгі максимумдарының саны(сурет 10):



Сурет 10-Ақ жарықтың спектрлері

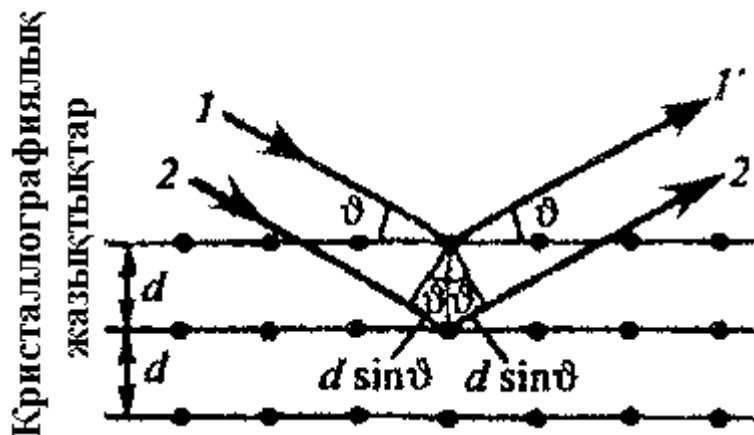
$$(|\sin \varphi| \leq 1 \text{ болғандықтан}). \quad m \leq \frac{d}{\lambda}$$

### Кеңістіктік торлардағы дифракция.

Жарық дифракциясы бірөлшемді торларда (параллель штрихтар жүйесі), екіөлшемді торларда (штрихтар бір жазықтықта өзара перпендикуляр бағыттарда сызылған) және кеңістіктік (үшөлшемді) торларда байқалады. Кеңістіктік торлар - периоды тұрақты және электромагниттік толқын ұзындығымен шамалас, құрылым элементтерінің пішіні геометриялық дұрыс

болып келетін және периодты қайталанып орналасатын кеңістіктік жүйе (жиын).

Кристаллдар - тор тұрақтысы (периоды)  $10^{-10}$  м-ге жуық үшөлшемді кеңістіктік жиын болғандықтан, рентген сәулелерінің ( $\lambda=10^{-15}\div 10^{-8}$  м) дифракциясын бақылау үшін қолданылады(сурет 11).



Сурет 11-Кеңістік тордағы дифракция

Айталық, кристалл бір-бірінен  $d$  қашықтықта орналасқан параллель кристаллографиялық жазықтықтардан тұрсын. Параллель монохромат сәулелер шоғы (1, 2)  $\vartheta$  сырғу бұрышымен түседі (түскен сәуле мен кристаллографиялық бет арасындағы бұрыш) және кристалл тордың атомдарын қоздырады. Ал қозған атомдар өзара бір-бірімен интерференцияланатын екінші ретті когерентті толқындардың (1', 2') көзі болып табылады. **Интенсивтіліктің максимумдары** атомдар жатқан жазықтықтардан шағылған толқындардың бірдей фазада болатын бағыттарында байқалады:  $2d \sin \vartheta = m\lambda$  ( $m = 1, 2, 3, \dots$ ) -

### Вульф – Брегг формуласы.

Бұл формула

1) **рентгендік құрылымдық анализде**- егер рентген сәулелерінің  $\lambda$  толқын ұзындығы белгілі болса, онда құрылысы белгісіз кристаллдық құрылымдарда дифракцияны бақылап,  $\vartheta$  сырғу бұрышын және  $m$ -ді өлшей отырып,  $d$ -ны анықтауға болады, яғни заттың құрылымын білуге болады;

2) **рентгендік спектроскопияда** – егер  $d$  белгілі болса, онда  $\vartheta$  сырғу бұрышын және  $m$ -ді өлшей отырып, түскен рентген сәулесінің  $\lambda$  толқын ұзындығын табуға болады; кеңінен қолданылады.

2) Дифракциялық тордың ажыратқыштық күші:  $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN$ , мұндағы

$\Delta\lambda$  - осы тор арықлы екі спектралды сызығы бір ыңғай болып көрінетін екі көршілес ( $\lambda$  және  $\lambda+\Delta\lambda$ ) спектралды сызықтардың ең аз толқын ұзындықтар айырымы,  $N$  – тордың штрихтар саны,  $k$  – дифракциялық максимумының реттілік нөмірі.

3) Дифракциялық тордың ажыратқыштық қабілеттілігі дифракциялық максимумының реттілік нөмірі қанша артық болса, ажыратқыштық күші сонша көп болады және штрихтар саны неғұрлым артық болса, соғұрлым көп болады:  $R = kN$ , мұндағы  $N$  – тордың толық штрихтар саны.

4) Тордың бұрыштық дисперсиясы:  $D_\varphi = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} = \frac{k}{a+b \cos\varphi}$ .

5) Аз бұрыштар үшін жуықтап алынған теңдігі тән:  $D_\varphi \approx \frac{k}{a+b}$

6) Дифракциялық тордың сызықтық дисперсиясы:  $D_l = \frac{\delta l}{\delta\lambda}$ .

7) Дифракцияның аз бұрыштары үшін:  $D_l \approx fD_\varphi = f \frac{k}{d}$ , мұндағы  $f$  – дифракцияланған сәулелерді экранда жинайтын линзаның бас фокус аралығы.

8) Рэлей Критерийі – екі жақын нүктелік жарық көздерінң бейнесі немесе екі жақын жатқан спектралды сызықтардың бейнесі, егер дифракциялық бейне центріндегі максимумы бір көзінен (сызығынан) басқаның дифракциялық бірінші минимумымен дәл келсе ажыратылды.

9) Телескоп объективтің ажыратқыштық қабілеттілігі екі жарқыраған нүктелер (мысалы, жұлдыздар) арасындағы ең аз бұрыштық арақашықтығымен сипатталады  $\beta$  ( $\beta = 1,22 \frac{\lambda}{D}$ ), сол қашықтықта осы нүктелердің дифракциялық бейнелері объективтің фокаль жазықтығында жеке көрінеді:  $R = \frac{1}{\beta} = \frac{D}{1,22\lambda}$  мұндағы  $\lambda$  -жарық толқын ұзындығы,  $D$  – объектив диаметрі.

10) Рентген сәулелердің кристалдық тордағы дифракция кезінде сәулелердің айналық шағылуы пайда болатын орындарында (дифракциялық максимумдар), Вульф - Брегг:  $2d \sin\theta = k\lambda$  формуласымен анықталады, мұндағы  $d$  – кристалдың атомдық жазықтықтардың арасындағы қашықтығы,  $\theta$  -сырғанау (сұрғу) бұрышы, кристалға түскен параллель рентген сәулелер шоғы мен кристалл қабырғасының арасындағы бұрышы, ол оптикалық сәулеленудің қай бағытта айналық шағылуы пайда болатын бағытын анықтайды (дифракционды максимумдарды).

### 4.3 Жарықтың Поляризациясы

Табиғи жарық деп  $\vec{E}$  вектордың бағдарлануы теңқималды болатын жарық, яғни барлық бағыттарда бұл вектордың бағыты жан жақты бірдей.

1) Полярланған жарықта  $\vec{E}$  вектордың бағыты қандай да болсын бір бағытпен реттелген изованным жарық.

2) Дербес-поляриланған жарық –  $\vec{E}$  вектордың аtryқшылық тербеліс бағыты болатын жарық

3) Поляризациялану дәрежесі  $P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$ , мұндағы  $I_{\max}, I_{\min}$  - дербес

поляриланған жарықтың сәйкесінше максимал және минимал интенсивтілігі. Табиғи жарық үшін  $I_{\max} = I_{\min}$ , және  $P = 0$ , жазықполяриланған жарық үшін  $I_{\min} = 0$  және  $P = 1$

4) **Брюстер заңы.** диэлектриктің сыну көрсеткіші  $n_2$  арасындағы  $n_1$  мен оның бетінен шағылып, толық поляриланып шығатын табиғи жарықтың түсу бұрышы ( қатынас. Брюстер заңы бойынша түсу жазықтығына перпендикуляр болатын жарық толқыны электр векторының  $E_s$  құраушысы ғана (яғни, жарықтың бөліну бетіне параллель құраушысы) шағылады, ал жарықтың түсу жазықтығында жататын  $E_p$  құраушысы шағылмайды, сынады :  $tg i_1 = n_2$ . Бұл жағдайда шағылған және сынған сәулелер өзара перпендикуляр.

5) Бір поляризатор арқылы өткен жарықтың Интенсивтілігі (қарқындылығы)  $I_0 = \frac{I_{есм.}}{2}$

6) **Малюс заңы.**  $I = I_0 k_\alpha \cos^2 \alpha$ , мұндағы  $I_0$  – анализаторға түскен жарықтың интенсивтілігі,  $k_\alpha$  - анализатордың мөлдірлігінің коэффициенті.

7) Поляризатор арқылы өткен жарықтың интенсивтілігі  $I = \frac{1}{2} I_{маб} \cos^2 \alpha$  немесе  $I = I_0 \cos^2 \alpha$ , немесе жарықталыну үшін Малюс заңын  $E = E_0 \cos \alpha$  деп жазуға болады.

8) Полярилану жазықтығының айналуы (бұралуы).

Монохромат жарықтың полярилану жазықтығының бұралу бұрышы:

а) қатты денелерде  $\varphi = \alpha d$ , мұндағы  $\alpha$  - бұралу тұрақтысы,  $d$  – қатты денеден қиып алынған пластина қалыңдығы;

б) таза сұйықтарында  $\varphi = \alpha \rho l$ , мұндағы  $\alpha$  - меншікті бұралу,  $\rho$  - сұйық тығыздығы,  $l$  – сұйық қабатының ұзындығы;

в) ерітінділерде  $\varphi = \alpha Cl$ , мұндағы  $C$  – ерітіндінің концентрациясы (ерітіндінің бірлік көлемдегі белсенді заттың массасы).

**Жарық жұтылуы.** Жарықтың жұтылуы (абсорбциясы) жарық толқынның энергиясының затта таралу кезінде толқын энергиясын басқа энергия түрлеріне түрлену құбылысын атайды

**Бугера – Ламберт заңы** -бір түсті (монохромат) жарық шоғының орта арқылы өткендегі әлсіреуін анықтайтын заң:  $I = I_0 \exp(-\mu d)$ , мұндағы  $I_0$  жұтқыш затқа түскен және қалыңдығы  $d$  заттың жұтқыш қабатынан шыққан жарық,  $\mu$  – жарықты жұтқан заттың жұту сызықтық коэффициенті (жұту көрсеткіші).  $I = I_0 e^{-\mu d}$  түрінде де жазылуы мүмкін.

### Жарық шашырауы.

1) оптикалық сәуле (жарық) ағынының затпен өзара әсерлесуі кезінде кейбір сипаттамаларының өзгеруі. Мұндай сипаттамаларға жарық қарқындылығының кеңістіктік таралуы, жиіліктік спектр, жарықтың полярлануы жатады. Көбінесе, Жарықтың шашырауы деп ортаның кеңістіктік біртексіздігінен болатын сол ортаның өзіндік емес (меншіксіз) жарқырауын айтады.

Оптикалық біртекті емес ортада жарықтың шашырауы нәтижесінде жазық толқынның интенсивтілігі(қарқындылығы) **келесі заң бойынша**:  $I = I_0 \exp(-hd)$ , мұндағы  $d$  шашыратушы ортаның қабат ені,  $h$  – экстинкция коэффициенті.

Егер шашыратушы орта, осыдан басқа жарықты жұтса, онда  $I = I_0 \exp(-\mu + h)d$ , мұндағы  $\mu$  – зат пен жарықты жұтудың сызықтық коэффициенті(жұту көрсеткіші)

### Фотометрияда жарық шамалары

1) Төбесінде орналасқан жарық көзі, денелік бұрыш шектерінде  $\omega$  нүктелік изотропты көзі шығаратын жарық ағыны  $\Phi$ :  $\Phi = I\omega$ , мұндағы  $I$  - жарық күші. Егер жарық ағыны доңгелек конустың бүйірлі бетпен шектелген болса,  $2\varphi$  бұрышымен, мұндағы  $\varphi$  - конус осімен жасаушы арасындағы бұрыш, онда конустың денелік бұрышы  $\omega = 2\pi(1 - \cos\varphi)$  формулемн анықталады. Жарық ағынның өлшем бірлігі – люмен (лм)

2) Изотропты нүктелік жарық көзінің толық жарық ағыны  $\Phi = 4\pi I$

3) Беттің жарықталыну  $E = \frac{\Phi}{S}$ , мұндағы  $S$  - жарық ағыны  $\Phi$  түсіп бірқалалыпты таралған бет ауданы. Жарықталынудың өлшем бірлігі люкс (лк)

4) Изотропты нүктелік жарық көзінің жарықталынуы  $E = \frac{I}{r^2} \cos \varepsilon$ , мұндағы  $r$  - беттен жарық көзіне дейінгі қашықтық,  $\varepsilon$  - сәулелердің түсу бұрышы.

5) Конустық сәулелендіргіштің қандай да болсын элемент бетінің жарық күші  $I = I_0 \cos \varphi$ , мұндағы  $\varphi$  -бет элементіне нормаль бағытымен бақылау бағыты арасындағы бұрыш,  $I_0$  -нормаль бағытымен осы элементке бет элементінің жарық күші. (жарық күшінің өлшем бірлігі – кандела: кд)

6) Жарқыраған беттің жарқырауы  $B = I/\sigma = \frac{I}{S \cos \varphi}$ , мұндағы  $I$  - бақылау бағытындағы жарық күші,  $\sigma$  -жазықтыққа жарқыраған беттің осы

бағытына перпендикуляр проекция ауданы (жарқыраудың өлшем бірлігі – кандела/метр квадрат: кд/м<sup>2</sup>.)

7) Жарықтық (Светимость)  $R = \frac{\Phi}{S}$ , мұндағы  $\Phi$  - бетпен шығарылатын жарық ағыны,  $S$  - осы бет ауданы. (жарқырағыштықтың өлшем бірлігі – люмен/метр квадрат: кд/м<sup>2</sup>)

8) Конустық сәулелендіргіштердің жарықтығы (жарқырағыштық бағытқа тәуелді емес)  $R = \pi B$

### **Фотометриядағы энергетикалық шамалары**

1) Сәулелену ағыны  $\Phi_e$  – сәулелену энергиясының  $W$  сәулелену пайда болған уақытқа  $t$  қатынасына тең шама (сәулелену қуаты). Сәулелену ағынының өлшем бірлігі – ватт (Вт):  $\Phi_e = \frac{W}{t}$

2) Энергетикалық жарқырау (сәулеленгіштік)  $R_e$  - бетпен шығарылған сәулелену ағының  $\Phi_e$ , осы ағын өтетін бет ауданына қатынасы  $S$ , (сәулеленудің беттік ағын тығыздығы). Энергетикалық жарқыраудың өлшем бірлігі – ватт/метр квадрат (Вт/м<sup>2</sup>)

3) Энергетикалық жарық күші (сәулелену күші)  $I_e$  - нүктелік жарық күшінің сәулелену ағынның осы сәулелену таралатын шектеріндегі денелік бұрышына. Өлшем бірлігі – ватт/стерадиан (Вт/ср)

4) Энергетикалық жарықтығы (лучистость)  $V_e$  - сәулелендіргіш бет элементінің энергетикалық жарық күшінің  $\Delta I_e$  бақылау бағытына перпендикуляр бетке  $\Delta S$  осы элементтің проекциясы. Өлшем бірлігі – ватт/стерадиан \*метр квадрат (Вт/(ср·м<sup>2</sup>))

5) Энергетикалық жарықталыну (облучённость)  $E_e$  - (жарықтандыратын беттің бірлігіне түсетін сәулелену ағынның шамасын сипаттайды. Энергетикалық жарықталынуудың өлшем бірлігі – ватт/метр квадрат (Вт/м<sup>2</sup>))

## Қорытынды

Физика пәнінен анықтамалықты оқу үрдісінің барлық сабақ түрлеріне дайындалу кезінде қолдануға болады.

Әр бір оқулықтың өз көлеміндегі негізгі қарастырылатын заңдар мен процестердің мазмұны әр түрлі, сондықтан осы анықтамалыққа физика пәннің негізгі тараулардың заңдары мен формулалары келтірілген.

Ағымды немесе қорытқы, кезеңді бақылауға дайындалу кезінде, физика пәнін меңгерту кезінде, тәжірибелік сабақтарды есеп шығару кезінде осы анықтамалықты қолдануға болады.

Мазмұны жағынан осы анықтамалыққа физика пәннің үлкен сағат көлемінде қарастырылатын тақырыптары еңгізілген, сонымен бірге бір анықтамалық ішіне бірнеше оқулық көлемде қарастырылатын заңдар мен формулалар біріктірілген.

Физика — табиғат жөніндегі жетекші ғылымдардың бірі. Ол басқа да жаратылыс тану ғылымдары сияқты ұзақ тарихи даму жолынан өтті. Жеке физикалық ілімдердің пайда болу дәуірі. Физика жайлы алғашқы деректер Ежелгі Вавилон, Египет жазбаларында кездеседі. Зәулім сарайлар мен күрделі құрылыстар (пирамида, қорғандар) салу жұмысында құрылыс механикасы мен статиканың қарапайым заңдылықтары және рычаг, көлбеу жазықтық, тәрізді қарапайым механизмдер пайдаланылды.

Техникада, құрылыста, медицинада және тағы басқа салаларында қолданылатын физикалық заңдары мен, құралдар, әдістер бізге белгілі, сондықтан да физика пәнін білгеніміз жөн.

## Қолданылатын әдебиеттер тізімі

1. Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Алматы: Білім. 2005. 320б.
2. Абдулаев Ж. Физика курсы.-Алматы: Білім, 2005. 346б.
3. Ахметов А.Қ. Физика.-Алматы: Ы.Алтынсарин атындағы Қазақтың білім академиясының Республикалық баспа кабинеті, 2007.-224б.
4. Поезжалов В.М., Мищенко А.В. Справочно-методическое пособие для подготовки к тестированию по общей физике: Костанай – КГУ им. А. Байтұрсынова, 2007
5. Трофимова Е.Ф. Курс физики. –М:Высшая школа, 2008