

11 дәріс

Жылудың конвекциямен және сәулеленумен берілуі

Дәріс жоспары

- 1 Конвективті жылу-массаалмасу;*
- 2 Ньютон-Рихман заңы;*
- 3 Еркін және мәжбүрлі конвекция үшін критериалдық теңдеулер;*
- 4 Ламинарлық және турбуленттік конвекция;*
- 5 Көлденең құбырдағы табиғи конвекция;*
- 6 Конвективті жылуалмасудың маңызы.*
- 7 Сәулелі жылуалмасу**
- 8 Сәулелер түрлері**
- 9 Сәулелену арқылы жылудың берілуінің негізгі заңдары**

Жылу конвекциясы

жылу сұйық пен газдың макробөлшектерінің қозғалысымен тасымалданады

Еркін конвекция

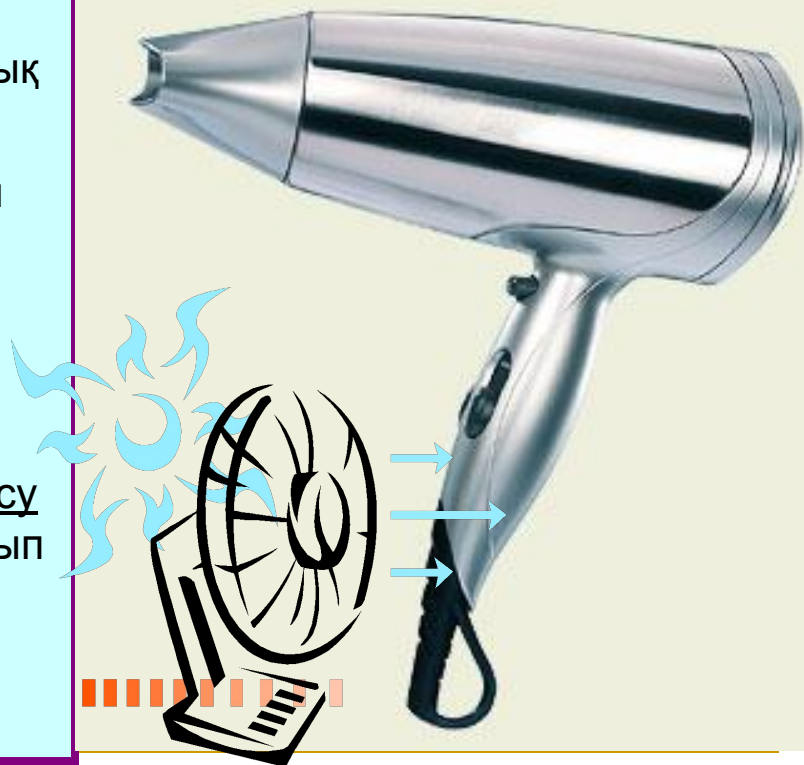
Еркін-сұйықтың әртүрлі нүктелерінде температуралар айырмасы болған кезде массалық күш әсерінен пайда болады.

Мәжбүрлі – беттік күштер әсерінен пайда болады (желдеткіш, сорғы, калорифер, т.б.).

Жылудың конвекциямен берілуі барлық уақытта жылуөткізгіштікпен қатар жүреді.

Жылудың конвекциямен және жылуөткізгіштікпен берілуінің біріккен процесі конвективті жылуалмасу деп аталады. Ол орныққан және орнықпаған болып екіге бөлінеді. Бірінші жағдайда сұйықтың температуралық өрісі уақыт бойында өзгермейді, екіншісінде-өзгереді.

Мәжбүрлі конвекция



Жылу беру процесіне әсер етуші негізгі факторлар

- Қабырға бетінің бойлығымен сұйық қозғалысының туындау табиғаты. Сұйықтың (газдың) ыстық және суық қабаттарының тығыздықтары айырмасына негізделген және олардың ауырлық өрісіндегі өз бетінше қозғалысы – еркін қозғалыс немесе табиғи конвекция. Сорғымен, желдеткішпен және басқа құрылғылармен жасалатын қысым айырмасынан туындайтын қозғалыс – мәжбүрлі қозғалыс немесе мәжбүрлі конвекция.
- Сұйық қозғалысының режимі. Тәртіпті, қабатты, тыныштықты, араласпайтын, лүпілсіз қозғалыс *ламинарлық* (лат. *lamina* – жолақ, қабат) деп аталады, ал тәртіпсіз, хаостық, құйынды қозғалыс *турбуленттік* (лат. *turbulentus* – қарқынды, тәртіпсіз) деп аталады.
- Сұйықтар мен газдардың физикалық қасиеттері. Конвективті жылу алмасу процесіне келесі физикалық параметрлер үлкен әсер етеді: жылуөткізгіштік коэффициенті (λ), меншікті жылусыйымдылық (c), тығыздық (ρ), температура өткізгіштік коэффициенті ($a = \lambda / c \rho$), динамикалық тұтқырлық коэффициенті (μ) немесе кинематикалық тұтқырлық ($\nu = \mu / \rho$), көлемдік кеңеюдің температуралық коэффициенті ($\beta = 1/T$).
- Беттің пішіні (жазық, цилиндрлік), мөлшерлері және жайғасу жағдайы (көлденең, тік, т.б.).

Конвективті жылуалмасу

```
graph TD; A[Конвективті жылуалмасу] --> B[Конвективті жылуберу]; A --> C[Конвективті жылутасу];
```

Конвективті жылуберу

Конвективті жылутасу

Жылуберу-дене беттігі мен сұйық арасында жылудың берілуі.

Жылутасу-бір сұйықтан екіншіге оларды бөліп тұрған қатты дене арқылы жылудың тасылуы.

Ньютон-Рихман заңы

- Ньютон-Рихман заңының тұжырымы: конвективті жылу алмасумен берілетін жылудың мөлшері дене беті ($t'к$) мен қоршаған ортаның ($t'с$) температураларының айырымына тура пропорционал:
- $Q = \alpha \cdot (t'к - t'с) \cdot F$, немесе $q = \alpha \cdot (t'к - t'с)$,
мұндағы α жылу беру коэффициенті [Вт/(м²К)], дене беті мен қоршаған орта арасындағы жылу алмасудың қарқындылығын сипаттайды.

Конвективті жылу алмасу процесіне әсер етуші факторлар осы коэффициентке кіреді. Онда жылу беру коэффициенті келесі параметрлердің функциясы болады және бұл тәуелділік келесі теңдеумен көрсетіледі:

$$\alpha = f(X; \Phi; l_0; x_c; y_c; z_c; w_0; \theta; \lambda; a; c_p; \rho; \nu; \beta)$$

Теңдеу жылу беру коэффициентінің күрделі шама және оны анықтау үшін жалпылама теңдеу жазу мүмкін емес екенін көрсетеді. Сондықтан жылу беру коэффициентін анықтау үшін, зерттеудің эксперименттік әдісін қолданады. Эксперименттік әдістің құндылығы: алынатын нәтижелердің анықтығы; негізгі ықыласты тәжірибелік мүдделігі жоғары шамаларды зерттеуге аударуға болады. Бұл әдістің негізгі кемшілігі, ол берілген эксперименттің нәтижелерінің басқа ұқсас құбылыстарға қолданылу мүмкіндігін болмауы. Сондықтан берілген эксперименттік зерттеу нәтижелерін талдау негізінде жасалған қорытындылар, басқа құбылыстар үшін таратыла алмайды. Демек, зерттеудің эксперименттік әдісі кезінде әрбір нақты жағдай зерттеудің дербес объектісі болуы қажет және жылу беру процесінің математикалық жазылуы жылу өткізгіштіктің, қозғалыстың, тұтастықтың және жылу алмасудың дифференциалдық теңдеулері мен бір мәнділік шарттарына негізделеді. Бұл дифференциалдық теңдеулердің шешімі өте күрделі және көлемді және ол тек шектеулі қарапайым жағдайларда мүмкіндікті. Сондықтан конвективті жылу алмасу процесін зерттеуде ұқсастық теориясы әдісі қолданылады.

Ұқсастық теориясының негіздері және

модельдеу

Жобаланатын машинаның немесе агрегаттың конструкциясын әзірлеу сатысындағы жаңа техниканы жасау кезінде туындайтын проблемаларды шешудің оңтайлы әдісі физикалық модельдеу әдісін қолдану. Физикалық модельдеу – ғылыми зерттеу әдістерінің бірі, физикалық модель – зерттелетін объектінің қандайда бір дәрежеде физикалық мәнін көрсететін құрылғы.

Математикалық модель – зерттелетін объектінің заңдылықтарын сипаттайтын теңдеуді шығаратын құрылғы. Ары қарай үлгі деп аталатын, кез келген зерттелетін объектінің моделіне негізгі қойылатын талап, модель мен үлгінің ұқсастығымен шартталады

Күрделі жүйелер мен процестердің ұқсастық шарты: екі жүйе бір-біріне физикалық ұқсас болады, егер олар сапа жағынан бірдей, ал олардың біртекті шамаларын сипаттайтын қатынастар сәйкесті нүктелерде және уақыттың сәйкесті кезеңдерінде тұрақты сандармен (ұқсастық тұрақтыларымен) көрсетілетін болса. Физикалық жүйелер мен процестердің міндетті ұқсастық шартының бірі – олардың геометриялық ұқсастығы, яғни мөлшерлік шамаларының пропорционалдығы.

Екі газ ағынының жылулық ұқсастығы үшін, олардың геометриялық ұқсастығы және көлеміндегі жылдамдық, тығыздық, тұтқырлық, температура және басқа физикалық шамалар ұқсас (пропорционалды) болуы керек.

-
- ұқсастық критериясы деп берілген процесс үшін маңызы бар шамалардан құралған мөлшерсіз комплекс аталады. Әдетте, олар ғылымның сәйкес саласындағы зерттеулерге үлкен үлес қосқан ғалымдардың атымен аталып, олардың фамилиясының бастапқы екі әріпімен белгіленеді.
 - Ұқсастық теориясының негізгі идеясы – құбылыстың алғашқы жеке шешімін (заңдылығын) модельде эксперименттік жолмен алу, нәтижесін критериалдық түрде көрсету және оны тез және жеңіл мәліметтер алу үшін, сол модельге ұқсас басқа құбылыстарда қолдану мүмкіндігі.
-

Процестердің (құбылыстардың) ұқсастығының негізін қалаушы белгілері үш теоремада тұжырымдалған

ұқсастық сандары
бірдей
процестер
(құбылыстар)
өзара ұқсас

берілген физикалық
құбылысты сипаттаушы негізгі
математикалық теңдеу, барлық уақыт
та осы құбылысты сипаттайтын
ұқсастық критериялары арасындағы
тәуелділік түрінде көрсетіле алады

бірмәнділік шарттары ұқсас және
бірмәнділік
шартынан құрылған ұқсастық
критериялары
сан мәнінде тең құбылыстар
ғана ұқсас бола алады

1. Ньютон-Бертран теоремасы деп аталатын бұл теорема тәжірибелер жүргізу кезінде өлшеуді қажет ететін физикалық шамаларды бөлуге мүмкіндік береді. Олардың қатарына ұқсастық санының құрамына кіретін шамалар жатады.
2. Ұқсастық теориясының дамуындағы екінші қадамды орыс ғалымы А. Фредман (1911ж.) мен америка физигі Дж. Бэкингем (1914 ж.) жасады, олар бір-біріне тәуелсіз ұқсастықтың екінші теоремасын ұсынды. Бұл тәуелділік ұқсастық теңдеулері немесе критериалдық теңдеулер деп аталады.

Аталған екі теорема динамикалық ұқсастықтың қажетті және жеткілікті шарттарын белгілеуге мүмкіндік бермейді.

3. Көрсетілген шарттар ұқсастықтың үшінші теоремасында (Кирпичев-Гухман теоремасы) тұжырымдады. Бірмәнділік шарттары ретінде қарастырылатын құбылыстың негізгі заңдылықтары тәуелді болатын шамалар мен параметрлер алынады, яғни температура, қысым, жылдамдық және т.б. Бұл теорема қандай құбылыстардың бір-біріне ұқсас екенін анықтайтын белгілерді айқындайды және модельде алынған тәжірибе нәтижелерін басқа құбылысқа келтіру мүмкіндігін береді.

Теоремалардың тұжырымдамалары бойынша, алдыңғы екеуі ұқсас құбылыстардың қасиеттерін сипаттайды, ал үшіншісі – екі құбылыстың (жүйенің) ұқсастығына жету үшін қажетті шарттарды анықтайды. Сонымен, ұқсастық теориясы тәжірибелік мәліметтерді қорытындылап, оларды ұқсас құбылыстар мен процестерге таратуға мүмкіндік береді екен.

Жылулық, механикалық және гидромеханикалық құбылыстардың барлық негізгі ұқсастық критериялары осы процестерді сипаттайтын математикалық теңдеулерден алынады.

Мысалы, инерция күші мен ауырлық күшінің қатынасы беретін мөлшерсіз комплекс Фруда критериясын береді

$$Fr = \frac{gl}{\omega^2}$$

g – ауырлық күшінің үдеуі;

l_0 – анықтаушы сызықтық мөлшер.

Инерция күші мен қысым күші арасындағы байланыс Эйлер критериясымен сипатталады:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho \omega^2}$$

Δp – орта қозғалысын тудыратын, статикалық қысым айырымы

Гидродинамика және мәжбүрлі конвекция есептерін шешу үшін ең маңызды мөлшерсіз комплекс инерция күші мен тұтқырлық күші арасындағы байланысты көрсететін комплекс Рейнольдс критериясы деп аталады:

$$Re = \frac{\omega d}{\nu}$$

Re, Fr, Eu мөлшерсіз комплекстерінің құрамында жылдамдық ω болғандықтан, олар өзара алмасушылық қасиеттеріне ие бола алады, осыған байланысты оларды бір-біріне көбейтіп немесе бөліп, жаңа критериялар алуға болады. Мысалы, Рейнольдс саны мен Эйлер санын көбейтіп, қысым күшінің тұтқырлық күшіне қатынасын сипаттайтын Лагранж санын алады:

$$La = Re \cdot Eu = l \cdot \Delta p / (\eta \cdot \omega).$$

Жылу ұқсастығы критериялары да жылуберілістің басты теңдеулерінен (жылуөткізгіштіктің, жылуалмасудың, дене массасымен қабылданытын жылу теңдеулерінен) алына алады.

Теңдеуі	Критерияның атауы	Критерияға кіретін шамалар	Критерияның мәні
$Pr = \frac{\nu}{a}$	Прандтль критеріі (сұйықтың физикалық қасиеттерінің критеріі)	ν -кинематикалық тұтқырлық коэффициенті, м ² /с; а-температура өткізгіштік коэффициенті, м ² /сaғ	Сұйықтың физикалық қасиеттерін және жылудың сұйықта таралу қабілетін сипаттайды
$Pe = \frac{\omega d}{a}$	Пекле критеріі	w -жылдамдық, м/сек;	Жылудың ағындағы молекулярлық және конвективті тасылу қатынасының шамасы
$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$	Нуссельт критеріі (жылуберу критеріі)	α -конвективті жылуберу коэффициенті, Вт/(м ² ·град)	Ағынның шекаралық қабатында жылуберу қарқындылығы мен температуралық өріс арасындағы қатынасты сипаттайды
$Bi = \frac{\alpha l}{\lambda_m}$	Био критеріі	l -дененің сипатты мөлшері, м; λ_m - қатты дененің жылуөткізгіштік коэффициенті, Вт/(м·град)	Ішкі және сыртқы термиялық кедергілер арасындағы қатынасты сипаттайды
$Fo = \frac{a\tau}{l^2}$	Фурье критеріі (мөлшерсіз уақыт)	τ – уақыт, сек	Температуралық өріс өзгерісінің жылдамдығы, физикалық константалар және дене мөлшері арасындағы байланысты сипаттайды
$Gr = \frac{\beta g l^3 \Delta t}{\nu^2}$	Грасгоф критеріі (көтергіш күш критеріі)	β -көлемдік кеңею коэффициенті, 1/град; Δt -температуралар айыр-масы, град	Сұйықтың еркін қозғалысы кезіндегі кинематикалық ұқсастықты сипаттайды жидкости
$Ho = \frac{\omega l}{l}$	Гомохрондық критеріі	l -дененің сипатты мөлшері, м;	Қозғалыстағы ортаның уақыт бойындағы жылдамдық өрісінің өзгерісін сипаттайды
$Ga = \frac{gl^3}{\nu^2}$	Галилей критеріі	g -еркін түсу үдеуі, м/сек ²	Еркін ағыс өрісінің ұқсастығын сипаттайды

- Конвективті жылуалмасуды экспериментті зерттеу кезінде ізделетін шама болып Nu критериясына кіретін, конвекциямен жылу беру коэффициенті α табылады. Сондықтан конвективті жылуалмасудың критериалдық теңдеуін келесі функционалдық тәуелділіктер түрінде көруге болады: $Nu = f(Fo, Re, Pe, Gr)$ немесе $Nu = f(Fo, Re, Gr, Pr)$.

Сәулелі жылу алмасу (жылулық сәулелену)

- Барлық денелердің температуралары абсолюттік нөлден айрықшаланады, сондықтан бүкіл денелер сәулелі энергияны шашады және сіңіреді. Дененің ішкі энергиясының электрмагниттік толқындарға түрленуімен, осы энергияның тасымалдануымен және оның басқа денелермен сіңірілуімен шартталатын жылу алмасу жылуалмасу және сәулелену деп аталады.
- Толқын теориясына сәйкес, ν жиілікті және λ толқын ұзындықты толқынды тербеліс сәулелену деп қабылданады. Толқынның жиілігі мен ұзындығының көбейтіндісі жарық жылдамдығына тең, таралу жылдамдығы болады: $c \approx \lambda \cdot \nu \approx 3 \cdot 10^8$ м/с
- Кванттық тұрғыдан қарағанда, сәулелену энергиясы энергия-фотондар үлесі түрінде беріледі. Әрбір фотон жарық жылдамдығымен қозғалады және төменгі қатынаспен берілген белгілі бір энергияға ие болады: $e = h \cdot \nu$,
мұндағы h – Планк тұрақтысы, $h \approx 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

Электрмагниттік сәулеленудің барлық түрінің табиғаты бірдей, тек қана толқын ұзындығымен ерекшеленеді. Толқын ұзындығының интервалдарына тәуелді космостық, γ – сәулелену, рентгендік, ультракүлгін, көрінетін (жарық сәулелері), инфрақызыл және т. б. бөлінеді.

Жылу алмасу үшін маңыздысы – затпен сіңірілу кезінде жылуға және кері түрленетін энергиялы сәулелену. Мұндай қасиеттер толқын ұзындығы 0,4-тен 800 мкм дейінгі сәулелерде байқалады. Бұл сәулелену жылулықты деп аталады. Ол көрінетін (жарық) сәулеленуден (0,4-тен 0,8 мкм дейін) және инфрақызыл сәулеленуден (0,8-ден 800 мкм дейін) тұрады. Температураның 2000 оС аймағында жылу алмасудағы басты рөлді екіншісі, яғни инфрақызыл сәулелену атқарады.

Жылулық сәулелену барлық денелерге тән, олардың әрқайсысы қоршаған кеңістікке энергиясын сәулелендіреді. Басқа денеге түскенде бұл энергияның бір бөлігі сіңеді, бір бөлігі шағылады, ал бір бөлігі дене арқылы өтеді. Сәулелі энергияның денеге сіңірілген бөлігі қайтадан жылуға айналады. Ал шағылған бөлігі басқа денелерге түсіп, сіңеді және сәулеленің дене арқылы өтетін бөлігі де осы бірізділікте болады. Осылай бірнеше сіңірілгеннен кейін сәулелі энергия қоршаған денелер арасында түгелімен таралады, яғни әрбір дене тек үздіксіз сәулеленбейді, сонымен қатар сәулелі энергияны үздіксіз сіңіреді.

- Энергияның екі жақты осылай түрленуіне байланысты құбылыстың нәтижесінде (жылулық – сәулелену – жылулық) сәулелі жылу алмасу процесі өтеді. Берілетін немесе сіңірілетін жылудың мөлшері денеден шашылатын және сіңірілетін сәулелі энергиялардың мөлшерлері арасындағы айырмамен анықталады. Егер сәулелі энергияны өзара алмастыруға қатысатын денелер температурасы әртүрлі болса, онда бұл айырма нөлден өзгеше болады.

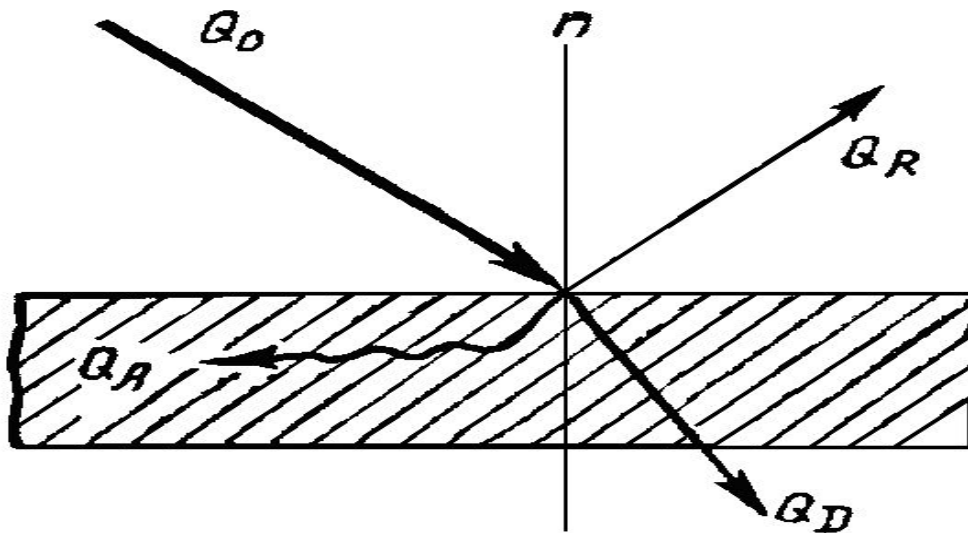
Сәулелі ағындар түрлері

Дене бетінен бір уақыт бірлігінде толқын ұзындығының бүкіл интервалында ($\lambda=0$ -ден $\lambda=\infty$ дейін) сәулеленетін энергия мөлшері сәулеленудің интегралдық (толық) ағыны Q (Вт) деп аталады.

Толқын ұзындығының өте тар интервалына сәйкес келетін сәулелену монохроматикалық деп, ал дене бетінің бірлігінен уақыт бірлігінде сәулеленген энергияның мөлшері дененің сәулелену қабілеті E (Вт/м²) немесе интегралдық сәулелену тығыздығы деп аталады.

$$E = \frac{dQ}{dF} \text{ Вт/м}^2$$

Дененің сәулеленудің белгілі бір толқынына келтірілген сәуле шашу қабілеттілігін сәулелену қарқындылығы J (Вт/м³) деп атайды.



Құлайтын сәулелі энергияның таралу сұлбасы

Мейлі, денеге құлайтын сәулелі ағынның Q , бір бөлігі денеге сіңіріледі Q_A , бір бөлігі шағылады Q_R , бір бөлігі дене арқылы өтеді Q_D (сурет), онда денеге құлаған сәулелі энергияның мөлшерін жазуға болады:

- $Q = Q_A + Q_R + Q_D$

Тендіктің екі бөлігінде Q бөліп және белгілеп, аламыз

- $Q_A/Q = A$, $Q_R/Q = R$, $Q_D/Q = D$, осыдан $1 = A + R + D$.

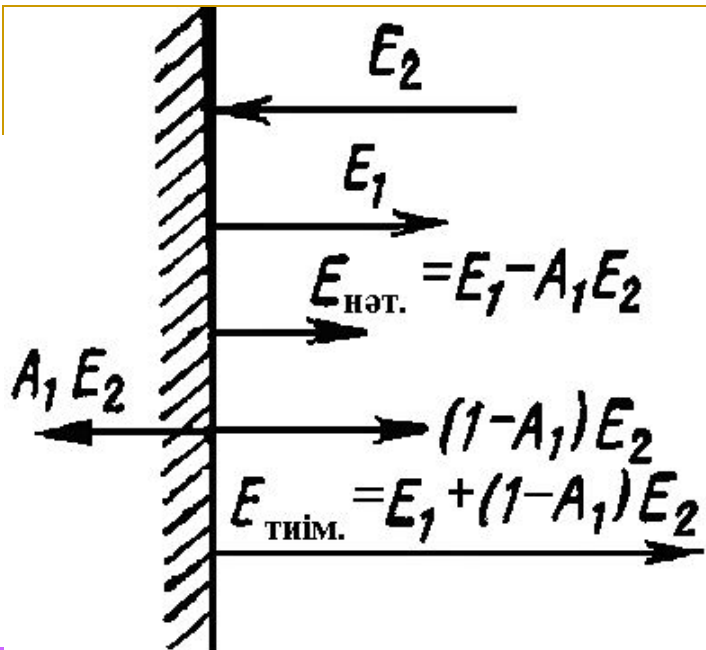
A , R , D коэффициенттері дененің сіңіру, шағылыстыру және өткізу (мөлдірлік) қабілеттерін сипаттайды. Осыған байланысты, олар *сіңіру, шағылысу және өткізу коэффициенттері* деп аталады және ол әртүрлі денелер үшін 0-ден 1-ге дейін өзгере алады.

Егер $A = 1$, онда $R = 0$ және $D = 0$; бұл түскен барлық сәулелі энергияның денемен толық сіңірілетінін көрсетеді. Мұндай денелер абсолютті қара денелер деп аталады. Табиғатта абсолютті қара денелер болмайды.

Егер $R = 1$, онда $A = 0$ және $D = 0$; бұл түскен барлық сәулелі энергияның денемен толық шағылатынын көрсетеді. Егер шағылған сәуле дұрыс болса дене айналы деп, ал шағылу диффузиялы болса – абсолютті ақ дене деп аталады. Абсолютті ақ дене де болмайды, бірақ кейбір материалдың шағылыстыру коэффициенті өте жоғары болады ($R=0,95$).

Егер $D = 1$, ал $A = R = 0$ болса, онда түскен сәуле толығымен дене арқылы өтеді, мұндай денелер *мөлдір* немесе *диатермиялық* деп аталады.

- Сонымен, табиғатта абсолютті қара, ақ және мөлдір денелер болмайды екен, дегенмен нақты беттіктермен салыстыру үшін бұл ұғымдар өте маңызды болып табылады.



Егер денеге сырттан ешқандай сәуле түспесе, дененің бет бірлігінен энергияның сәулелі ағыны шығады E_1 , Вт/м². Ол дененің физикалық қасиеттерімен және температурасымен анықталады. Бұл дененің өздік сәулесі. Тиімді сәулелену сәуле шашатын дененің физикалық қасиеттері мен температурасына ғана емес, сонымен қатар қоршаған денелерге, оның пішініне, мөлшеріне және дененің кеңістікте орналасуына да тәуелді.

- Дененің нәтижелі сәулеленуі өздік сәулесі мен сырттан түсетін сәуленің осы дене жұтатын бөлігі арасындағы айырмамен анықталады: $E_{\text{нэт}} = E_1 - A_1 E_2$. Сәулеленудің нәтижелі ағыны оң, теріс және нөлге тең (тепе-теңдікті сәулеленуде) шама бола алады. Дегенмен, қаралып отырған денеге басқа денелер тарапынан сәулелі энергия түседі, мөлшері E_2 .
- Бұл сәуле құлама сәуле деп аталады. Түскен сәуленің бір бөлігі (мөлшері $A_1 E_2$) денемен жұтылады. Ол жұтылған сәуле деп аталады, қалған бөлігі $(1 - A_1) E_2$ мөлшерінде шағылысады – шағылмалы сәуле. Дененің өздік сәулесі денеден шағылған сәулемен қосылып дененің тиімді сәулеленуін береді, оның шамасы $E_{\text{тиім}} = E_1 + (1 - A_1) E_2$ тең. Дененің бұл сәулеленуін біз сезінеміз немесе аспаптармен өлшей аламыз.

Сәулелі жылу алмасудың негізгі заңдары

Жылулық сәулеленудің заңдары идеал абсолютті қара денеге және термиялық тепе-теңдік жағдайларына қолданбалы алынған. Сәйкес түзетулер енгізумен оларды сұр денелердің немесе газдардың сәулеленуін есептеу мақсатында қолданыла алады.

■ Планк заңы

Сәулеленудің кванттық теориясын зерттеумен, М. Планк (1900 ж.) абсолютті қара дененің сәулелену ағыны тығыздығының толқын ұзындығы мен температураға тәуелділігін дәлелдеді:

$$E_{0\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2 / \lambda T} - 1}$$

мұндағы λ – толқын ұзындығы, м;

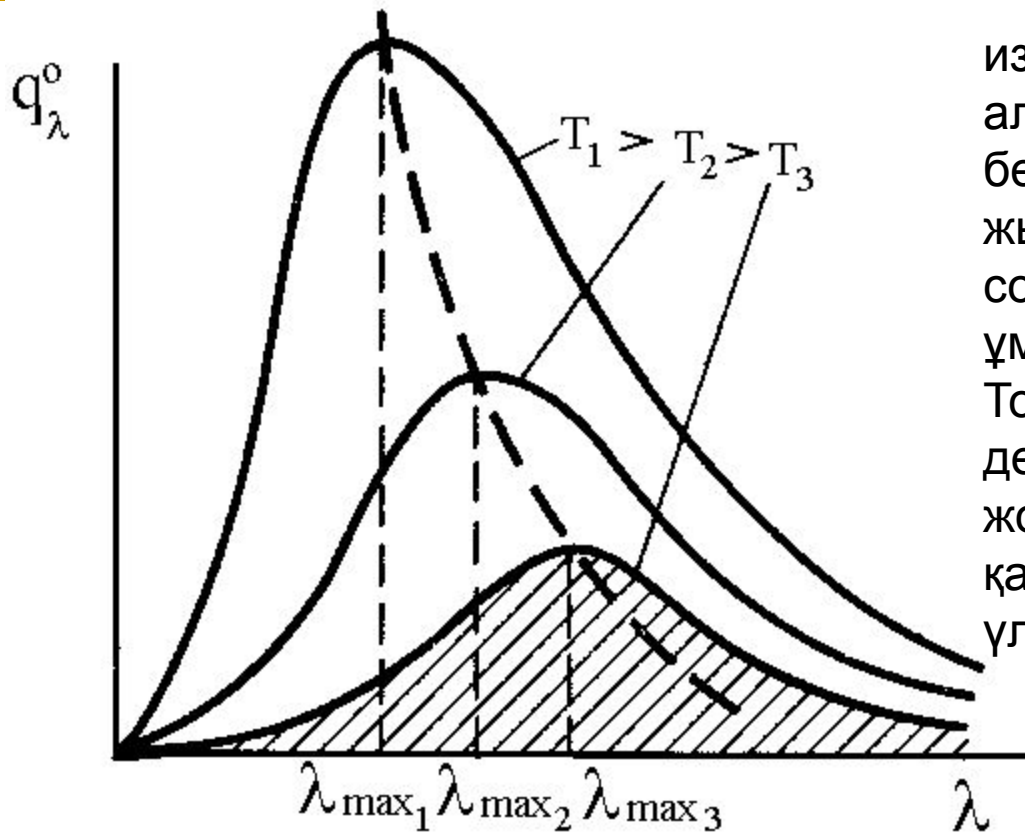
e – натурал логарифм негізі;

T – дененің абсолюттік температурасы, К;

$c_1 = 3,74 \cdot 10^{-16}$, Вт/м² – Планк тұрақтысы

(бірінші);

$c_2 = 1,44 \cdot 10^{-2}$, м · К – Планк тұрақтысы (екінші).



изотермалардан, сәулеленудің алғашқыда, қысқа толқындар бөлімшесінде, максимумға дейін жылдам жоғарылайтынын, ал содан соң баяу төмендеп, нөлге ұмтылатынын көруге болады. Толқынның бірдей ұзындығында, дене температурасы қаншалықты жоғары болса, сәулелену қарқындылығы соншалықты үлкен

Егер сәулелену спектрі үздіксіз болса, ал $E_{\lambda} = f(\lambda)$ қисығы сол температурадағы абсолютті қара дене үшін сәйкес қисыққа ұқсас болса, яғни толқынның барлық ұзындығы үшін $E_{\lambda}/E_{0\lambda} = \text{const}$ болса, онда мұндай сәулелену **сүр** деп аталады.

ЫҒЫСУ (Вин) заңы

Қара тепе-теңдікті сәулеленуді термодинамикалық талдау негізінде В. Вин (1893 ж.) сәулеленудің максималь қарқындылығы сәйкес келетін абсолюттік температура T мен толқын ұзындығы $\lambda_{\text{макс}}$ арасындағы келесі байланысты белгіледі:

- $\lambda_{\text{макс}} \cdot T = v = \text{const.}$

Изотермалар максимумы нүктелері арқылы өтетін штрихты сызықтар Виннің ығысу заңына сәйкес келеді. Мысалы, күн сәулесі үшін ($T \approx 6000 \text{ K}$) қарқындылық максимумы спектрдің көрінетін бөліміне түседі ($\lambda_{\text{макс}} = 0,5 \text{ мкм}$). Техникалық құрылғыларда кездесетін температуралар үшін (2000 K төмен), қарқындылық максимумы жылулық (инфрақызыл) сәулелерге келеді.

-
- Әртүрлі температураларды T беру кезіндегі $\lambda_{\text{макс}}$ нақты мәнін анықтау үшін, Вин тұрақтысы деп аталатын « v » шамасын білу қажет; Планктың теориялық зерттеулері « v » тәуелсіз анықтауды жүргізуге мүмкіндік берді және оның мәнін $v = 2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ тең деп белгіленді.
 - Виннің ығысу заңын қолданып, жоғары температуралы денелерді қашықтықтан өлшеуге болады, мысалы, балқыған металдарды, ғарыштық денелерді және басқаларды.
-

И. Стефан – Л. Больцман заңы

Стефан – Больцман заңы интегралдық сәулелену ағыны тығыздығының температураға тәуелділігін айқындайды.

- $E_0 = \sigma_0 \cdot T^4$, Вт/м²,

мұндағы $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$, Вт/(м² · К) – абсолютті қара дененің сәулелену тұрақтысы.

Техникалық есептеулерде ыңғайлы қолдану үшін σ_0 константасын 10^8 ретке арттырады, ал температураны 100 бөледі. Сонда Стефан – Больцман заңы келесі түрде болады

$$E_0 = c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4,$$

- мұндағы $c_0 = 5,67$ Вт/(м² · К⁴) – абсолютті қара дененің сәулелену коэффициенті.

- Стефан-Больцман заңы абсолютті қара дене үшін дұрыс, сұр денелер үшін де қолдануға болады.

$$E = \varepsilon E_0 = \varepsilon c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 = c \left(\frac{T}{100} \right)^4$$

- мұндағы $\varepsilon = E/E_0 = c/c_0 < 1$ – сұр дене қаралығының интегралдық дәрежесі, сұр дененің салыстырмалы сәулелену қабілеттілігін көрсетеді.

Дененің өздік сәулелену ағыны тығыздығын осы температура кезіндегі абсолютті қара дененің сәулелену ағынымен тығыздығымен салыстырып дененің қаралық

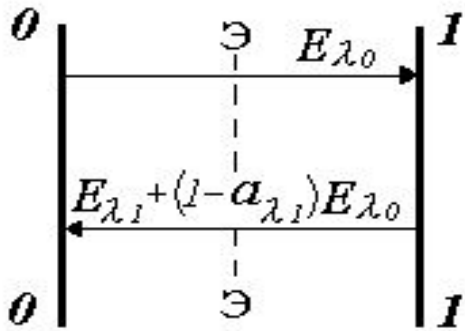
дәрежесін, ε алады:

$$\varepsilon = \frac{E}{E_0} = \frac{c}{c_0}.$$

- **Кирхгоф заңы** - дененің сәулелену және сәуле сіңіргіштік қабілеттілігі арасындағы байланысты анықтайды. Термодинамиканың екінші заңына негізделеді. Абсолютті қара дененің сәулелену қабілетінің оның сіңіру қабілетіне қатынасы тек толқын ұзындығы мен абсолюттік температураның функциясы болатынын анықтады. Бұл функция бірдей температурадағы барлық денелер үшін дұрыс.

Сұр (1) және абсолютті қара (0) беттер арасындағы сәулелі жылу ағыны

Сұр беттің (1) сіңіргіш қабілеті A_1 , ал абсолютті қара беттің (0) сіңіргіш қабілеті $A_0 = 1$. Беттер арасына толқын ұзындығы λ сәулелер үшін абсолютті мөлдік экран бар.



Басқа сәулелерді экран толығымен шағылыстырады. Экран мен беттер температуралары бірқалыпты және бірдей, яғни температуралық тепе-теңдікте. 0 беттен $\rightarrow 1$ сәулелену тығыздығы беттің (0) өздік сәулесімен ғана шартталады және $E_{\lambda 0}$ тең. 1 беттен $\rightarrow 0$ сәулелену тығыздығы 1 беттің өздік сәулесімен және 0 беттің содан шағылған сәуленің қосындысынан тұрады және $E_{\lambda 1} + (1 - A_\lambda) E_{\lambda 0}$ тең. Жүйе жылулық тепе-теңдікте, онда $E_{\lambda 0} = E_{\lambda 1} + (1 - a_\lambda) E_{\lambda 0}$.

$$\frac{E_{\lambda 1}}{E_{\lambda 0}} = a_\lambda \quad \text{немесе} \quad \frac{E_{\lambda 1}}{a_\lambda} = E_{\lambda 0}$$

Яғни, берілген температура мен толқын ұзындығында дененің сәулелену тығыздығының оның сіңіргіштік қабілетіне қатынасы тұрақты шама.

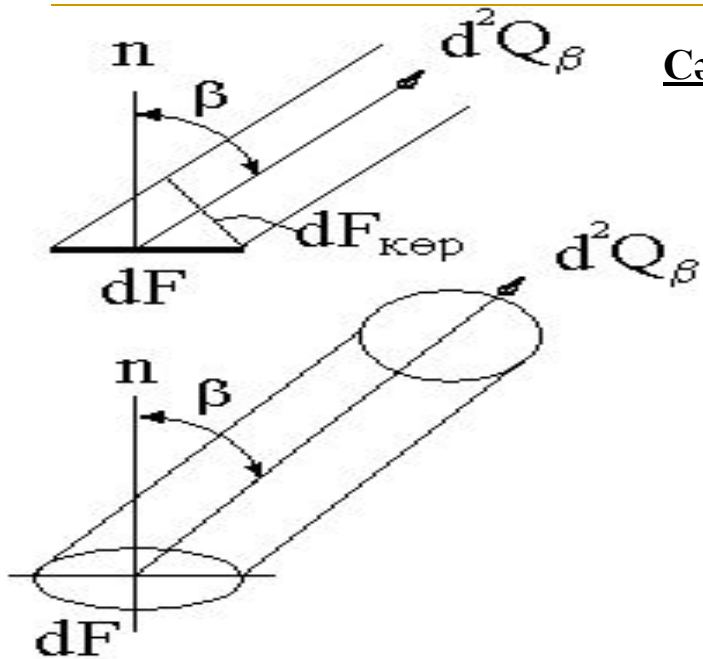
Кирхгоф заңының тұжырымы:

- толқын ұзындығы еркінше таңдалғандықтан және дененің сіңіру қабілеті бірден аспайтындықтан, толқынның кез-келген ұзындығында абсолютті қара дененің сәулелену тығыздығы, осы температурадағы басқа денелердің сәулелену тығыздығынан жоғары;
- бір беттің қасиеттері айқын аталмағандықтан, соңғы теңдік осы температурадағы барлық беттер үшін дұрыс:

$$\frac{E_{\lambda 1}}{a_{\lambda 1}} = \frac{E_{\lambda 2}}{a_{\lambda 2}} = \frac{E_{\lambda 3}}{a_{\lambda 3}} = \dots = E_{\lambda 0}$$

Ламберт заңы

- Сәулелену қарқындылығының бағытқа тәуелділігін орнықтыратын заң. Ламберт заңының тұжырымы: элементарлық ауданнан dF аудан нормалына β бұрышпен бағытталған, кеңістікті бұрышқа $d\omega$ жіберілген сәулелі ағын d^2Q_β , $d\omega$ бағытында көрінетін аудан бетіне және сол бұрыштың шамасына пропорционал.
- $dF_{\text{көр}} = dF \cos\beta$, осыдан $d^2Q_\beta = b dF \cos\beta d\omega$,
- мұндағы b – барлық β бұрыштар үшін бірдей пропорционалдық коэффициент, жарықтық деп аталып, ауданды сәуле таратқыш ретінде сипаттайды (Вт/м²)



Сәулелену қарқындылығының бағытқа тәуелділігі

- Демек, сәулелі энергияның үлкен мөлшері сәулелену бетіне перпендикуляр бағытта сәулеленеді, яғни $\beta = 0$ кезде. β ұлғаюымен сәулелі энергияның мөлшері төмендейді және $\beta = 90^\circ$ кезінде нөлге теңеседі. Ламберт заңы абсолютті қара және $\beta = 0 - 60^\circ$ кезінде диффузиялық сәулеленуге ие денелерге толығымен дұрыс келеді. Жылтырланған беттер үшін Ламберт заңы қолданыла алмайды.

Нақты денелердің сәулеленуі. Сұр дене. Нақты денелердің сіңіру коэффициенті беттің табиғаты мен күйіне тәуелді: кедір-бұдырлық дәрежесіне, тотықты қабыршақтың, ластың болуына және т.б. Барлық нақты денелердің (қатты, сұйық, газ тәріздес) сіңіруінің монохроматикалық коэффициенті әртүрлі ұзындықты толқындар үшін бірдей емес. Техникалық есептеулерді жеңілдету үшін сұр дене ұғымы енгізілген. Сұр дене - жарықтығы барлық бағытта бірдей, ал қаралық дәрежесі тұрақты дене.

$$E = \varepsilon E_0 = \varepsilon \sigma_0 T^4$$

Нақты денелер техникалық есептеуде сұр деп қаралады. Бұл кезде денелердің сіңіргіштік қабілеті оның қаралану дәрежесіне тең деп есептеледі: ($a = \varepsilon$).

Бақылау сұрақтары

1. Конвекция дегеніміз не және қандай денелерде ол басым байқалады?
 2. Ньютон-Рихман заңының негізгі мәні неде?
 3. Сұйық қозғалысының қандай режимдері Сізге белгілі? Оларға сипаттама беріңіз.
-