

Жылусыйымдылық және оның түрлері

Дәріс жоспары

1. Дене жылуsыйымдылығы туралы ұғым.
2. Жылуsыйымдылық түрлері.
3. Тұрақты көлем кезіндегі идеал газ жылуsыйымдылығы.
4. Тұрақты қысым кезіндегі идеал газ жылуsыйымдылығы.
5. Жылуsыйымдылық пен газ тұрақтысы арасындағы байланыс.
6. Жылуsыйымдылықтың температураға тәуелділігі.
7. Газдың орташа жылуsыйымдылығын анықтау.
8. Газ қоспасының жылуsыйымдылығы.

1. Дене жылуыйымдылығы туралы ұғым

Әртүрлі температурадағы екі дененің (жүйенің) жанасуы кезінде, олардың температуралары теңеседі. Жүйелер арасында жылулық өзара әрекеттесу пайда болады. Соның әсерінен бір дененің температурасы төмендейді (ол өзінің энергиясын береді), ал екіншісі – артады (ол энергияны алады). Осылай дененің қызу дәрежесі өзгереді.

Жылулық өзара әрекеттесудің мөлшерлік өлшеуін жүргізу үшін ағылшын химигі Джозеф Блэк (1727-1799 ж.ж.) бастапқы температуралары әртүрлі болатын сұйықтардың әртүрлі мөлшерлерін араластыру кезінде өтетін құбылысты зерттеді. Одан өзге, ол екіфазалы жүйемен (мысалы, мұз-су жүйесі) жанасқан денелер арасындағы жылулық әрекетінің нәтижелерін зерттеді.

Судың екі порциясының қоспасы үшін сол уақыттың ғалымдарымен келесі тәуелділік алынды:

$$t_{cm} = (11am + 8bn) / (11a + 8b), \quad (1)$$

мұндағы a, b – судың екі порциясының массалары;

m, n – солардың температуралары.

Кейіннен бұл теңдеудің тек аз үлеске ғана дұрыс екені, ал керісінше жағдайда нақты температураның есептелгеннен үлкен ауытқулы болатыны анықталды.

Георг Рихман тәжірибелік жолмен біртекті заттар қоспасының температурасын анықтау тәуелділігін белгіледі:

$$t_{\text{см}} = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2}, \quad (2)$$

мұндағы c_1 , m_1 , t_1 и c_2 , m_2 , t_2 – заттың бірінші және екінші күйдегі меншікті жылусыйымдылығы, массасы және температурасы.

Әртүрлі температурада алынған, бірдей заттардың екі теңдей порциясы қоспасының температурасы $t_{\text{см}}$, берілген екі температуралар арасындағы орташа арифметикалық мәнге тең болуы керек. Егер бірдей порциядағы судың температуралары араластыруға дейін 80°C және 20°C тең болса, онда қоспа температурасы тең болады:

$$t_{\text{см}} = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2} = \frac{cm(t_1 + t_2)}{2cm} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{80 [^\circ\text{C}] + 20 [^\circ\text{C}]}{2} = 50^\circ\text{C},$$

$[c_1 = c_2 = c; m_1 = m_2 = m].$

Егер әртүрлі температурадағы судың әртүрлі мөлшері алынса, мысалы,

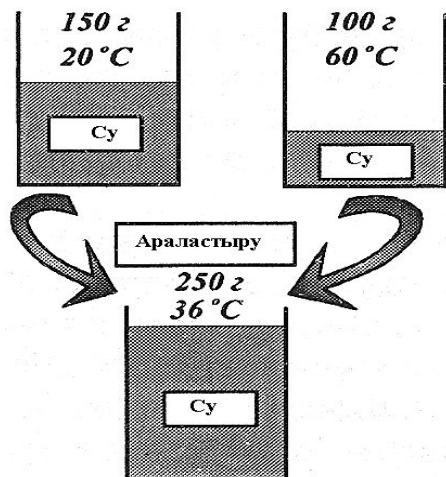
$$m_1 = 150 \text{ г}; \quad t_1 = 20^\circ\text{C};$$

$$m_2 = 100 \text{ г}; \quad t_2 = 60^\circ\text{C},$$

Онда араласқаннан кейінгі су температурасы тең:

$$t_{\text{см}} = \frac{c(150 \cdot 20 + 100 \cdot 60)}{c(150 + 100)} = \frac{3000 + 6000}{250} = 36^\circ\text{C},$$

Ол тәжірибеден байқалады (1 сурет).

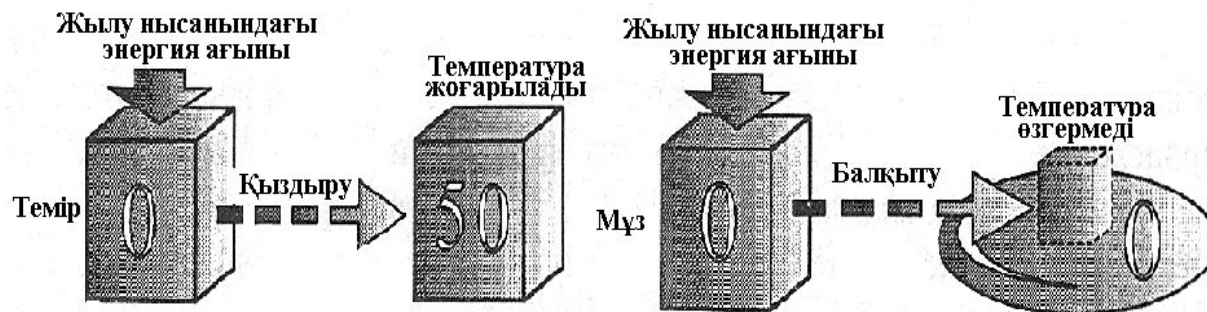


1 сур. Әртүрлі температуралы судың екі порциясын араластыру

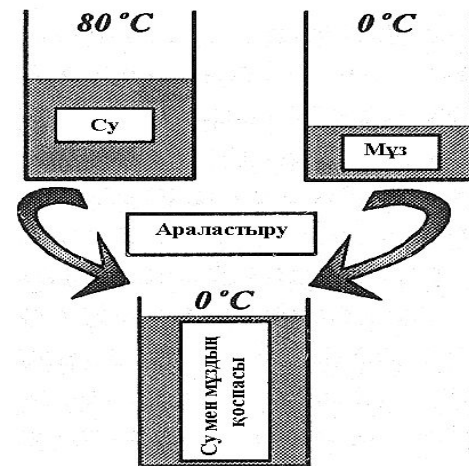
Блэк температурасы 80° С суды температурасы 0 °С мұздың бірдей порциясымен араластырғанда (2 сурет), қоспаның температурасы (мұз ерігеннен соң) 40 °С емес, ал 0 °С болатынын байқады!

Блэк жылулық өзара әрекеттесу процесінде температураның сақталуы міндет емес екенін, тіпті оның болмайтынын көрсетті. Яғни, егер теңдей массадағы әрекеттесуші жүйенің бірінің температурасы жоғарыласа, екіншінің температурасы сол шамаға төмендеуі міндетті ғана емес, тіпті өзгермеуі де мүмкін. Осылай жылуалмасу кейде температураның өзгерісіне әкеледі, кейде – жоқ (3 сур).

Осылай Дж. Блэк әртүрлі заттар жылудың әртүрлі мөлшерін жұтуға (сіңіруге) қабілетті екенін орнықтырды, яғни олардың «жылуды жайғастыратын сыйымдылығы» әртүрлі.



3 сур. Дене температурасының оның фазалық күйіне тәуелділігі



2 сур. Әртүрлі фазалық күйдегі судың екі порциясының араласуы

Өзінің тәжірибесінде Блэкбір порцияны сынаппен алмастырды, содан «сынаптың жылулық материяға қатынасы бойынша сыйымдылығы суға қарағанда төмен» екенін дәлелдеді. Блэк «жылу мөлшері» мен «температура» ұғымдарын айқын шектеді. Оның тұжырымында: **«Біз жылудың таралуы туралы айтқанда, барлық уақытта жылу мөлшері мен жылу күшін айыру қажет және бұл екі шаманы алмастыруға болмайды».**

Ол бірінші болып дене температурасы мен жылусыйымдылығы арасындағы айырмашылықты түсіндірді.

- **Жылусыйымдылық** – қандай да бір температуралық шкалада дене температурасын бір градусқа өзгерту үшін талап етілетін жылу мөлшерінің (жылу нысанындағы энергия) шамасы.

2. Жылу сыйымдылық түрлері

Жылу нысанында энергияның белгілі бір мөлшерін алған дене температурасының өзгерісі жылу сыйымдылықпен (энергия сыйымдылықпен) анықталады. Бірдей мәнге температураны өзгерту үшін, жоғары жылу сыйымдылықты дене төменгі жылу сыйымдылықты қарағанда жылу мөлшерін көп талап етеді.

Дене жылу сыйымдылығы келесі қатынаспен анықталады:

$$C = \frac{\text{Жылу нысанындағы энергия}}{\text{Температура өзгерісі}} = \frac{Q}{\Delta T}, \quad (3)$$

мұндағы C – дене жылу сыйымдылығы, Дж/К;

Q – денеге берілген жылудың толық мөлшері, Дж;

ΔT – денеге жылудың берілуімен туындайтын температура өзгерісі, К.

Осы теңдеумен анықталатын жылу сыйымдылық, **орташа** деп аталады, өйткені ол дене температурасы өзгерісінің соңғы интервалына тәуелді.

Кейбір процестерде өз күйінің шексіз аз өзгерісімен жылу нысанында денемен алынатын энергия мөлшерінің δQ осы процестегі дене температурасының dT өзгерісіне қатынасы осы процестегі дененің **нақты** жылу сыйымдылығы деп аталады:

$$C = \frac{\delta Q}{dT} \quad [\text{Дж/К}; \quad \text{кДж/К}]. \quad (4)$$

2. Жылуsыйымдылық түрлері

Зат мөлшернің бірлігіне жатқызылған жылуsыйымдылық, меншікті деп аталады. Зат мөлшерінің таңдалған бірлігіне тәуелді бөлінеді:

- **меншікті жылуsыйымдылық c** , заттың (газдың) 1 кг келтірілген:

$$c = \frac{C}{m} = \frac{\delta Q}{m \cdot dT} = \frac{\delta q}{dT} \quad [\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})], \quad (5)$$

m – зат массасы, кг;

δQ – затқа келтірілген жылудың шексіз ең аз мөлшері, Дж (кДж);

δq – заттың бір бірлігіне келтірілген меншікті жылудың шексіз ең аз мөлшері, Дж/кг (кДж/кг);

dT – зат температурасының шексіз аз өзгеріссі, К;

- **көлемдік жылуsыйымдылық c'** , қалыпты физикалық жағдайларда 1 м³ көлемдегі заттың (газдың) мөлшеріне келтірілген :

$$c' = \frac{C}{V_n} = \frac{\delta Q/dT}{V_n} = \frac{\delta Q}{V_n \cdot dT} \quad [\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})], \quad (6)$$

мұндағы V_n – қалыпты жағдайдағы зат көлемі, м³;

- **молярлық жылуsыйымдылық Mc** , зат санына келтірілген:

$$Mc = \frac{C}{n} = \frac{\delta Q/dT}{n} = \frac{\delta Q}{n \cdot dT} \quad [\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})], \quad (7)$$

мұндағы n – зат саны, моль (кмоль);

2. Жылу сыйымдылық түрлері

1 кестеде тұрақты қысым кезіндегі ($p = idem$) заттардың меншікті жылу сыйымдылықтарының кейбір сипатты мәндері келтірілген

1 кесте

Тұрақты қысым кезіндегі заттардың меншікті жылу сыйымдылығы

Зат	Меншікті жылу сыйымдылық, c_p			Салыстырмалы жылу сыйымдылығы
	ккал/кмоль·К	ккал/кг·°С	Дж/кг·К	
Азот	6.98	0.249	1042	0.249
Алюминий	5.80	0.215	900	0.215
Аммиак (газ)	8.94	0.525	2197	0.525
Аргон	4.95	0.124	519	0.124
Су (сұйық)	17.98	1.00	4184	1.00
Су (100°С кез. бу)	8.68	0.48	2010	0.48
Мұз (5°С кез.)		0.50	2100	0.50
Сутегі	6.87	3.41	14267	3.41
Оттегі	7.01	0.219	916.3	0.219
Көмірқышқыл газ	8.76	0.199	833	0.199

Кестеден судың ең жоғарғы жылу сыйымдылықты екенін көреміз, бұл оны ыстық сулы жылу тасымалдау жүйесі үшін, көліктерде, тракторларда және т.б. қолданылатын поршеньді ІЖҚ суыту жүйесі үшін идеал орта етеді.

3. Нағыз және орташа жылусыйымдылықтар

Идеал газдың жылусыйымдылығы температураға, ал реал газдікі қысым-ға тәуелді болғандықтан, техникалық термодинамикада жылусыйымдылықты нағыз және орташа деп бөледі. v және T немесе p және T күй параметрлерінің берілген мәндері кезінде ($C_x = dq_x/dT$), ($C_v = dq_v/dT$), ($C_p = dq_p/dT$) теңдеулерімен анықталатын жылусыйымдылық нағыз жылусыйымдылық деп аталады. Демек, дәл жылусыйымдылық деп қандай да бір процесте термодинамикалық жүйеге температураның шексіз аз айырмасына келтірілетін элементар жылу мөлшері аталады.

Реал газдардың дәл жылу сыйымдылығын екі қосылғыштың қосындысы ретінде көрсетуге болады:

$$C_x = C_{x0} + \Delta C_x$$

Бірінші қосылғыш берілген газдың сиреген жағдайдағы (идеал газбен) ($p \rightarrow 0$ немесе $v \rightarrow \infty$) күйін көрсетеді және температураға ғана тәуелді.

C_p және C_v жылусыйымдылықтарының температуралық тәуелділігі t °C-дан үшінші дәрежелі полином түрінде көрсетіле алады.

$$C_{x0} = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$$

Дегенмен қазіргі кездерде есептеулерде дәлірек кесте мәндерін қолданады. Екінші қосылғыш , жылусыйымдылықтың қысым мен меншікті көлемге тәуелділігін анықтайды және реал газдың ішкі энегиясының құрама потенциялының өзгеруіне байланысты.

Практикалық есептеулерде жылу мөлшерін анықтауда негізінде орташа жылусыйымдылық қолданылады. Берілген процестегі орташа жылусыйымдылық C_{xm} деп , t_1 -ден t_2 -ге дейінгі температура интервалындағы, жылу мөлшерінің соңғы температураның айырмасына қатынасын айтады:

$$C_{xm} \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} C_x dt$$

Берілген процестегі дененің нағыз және орташа жылусыйымдылықтары арасындағы байланысты осы теңдеу белгілейді.

ср және сv жылусыйымдылықтарының қатынасы

Термодинамикада тұрақты қысым кезіндегі жылусыйымдылықтың тұрақты көлем кезіндегі жылусыйымдылыққа қатынасы жиі қолданылады, ол k әріпімен белгіленеді:

$$k = C_p / C_v = C'_p / C'_v = \mu C_p / \mu C_v$$

Газдардың кинетикалық теориясына сүйене отырып, k мөлшері молекуланың еркін дәреже санымен анықталады.

$$d\mu / dT = \mu c_v = (3/2)\mu R \quad \text{және} \quad \mu C_p [(i + 2) / 2] \mu R$$

теңдеуінен шығады

$$k = \frac{i + 2}{2} R \frac{i}{2} R = 1 + 2 / i$$

Егер $C_x = \text{const}$ деп алсақ, онда кесте мәндерінен аламыз: бір атомды газ үшін $k = 1,66$; ($i = 3$), екі атомды газ үшін $k = 1,4$ ($i = 5$), үш- және көпатомды газ үшін $k = 1,33$ ($i = 6$).

$C_x \neq \text{const}$ болғанда идеал газ үшін k температураға байланысты, оны формуладан көруге болады

$$k = C_p / C_v = (C_v + R) / C_v = 1 + R / C_v$$

Майер теңдеуінен C_v және C_p жылусыйымдылығы үшін келесі қатынасты алуға болады:

$$C_v = R/(k-1); C_p = kR/(k-1)$$

Бақылау сұрақтары:

1. Өртүрлі температуралардағы заттардың жылулық өзара әрекеттессуін зерттеуге арналған Джозеф Блэк тәжірибесі.
2. Жылу түріндегі энергияның мөлшерлі өлшеуін анықтаушы шамалар ретінде жылуsыйымдылықты анықтау.
3. Жылуsыйымдылықтың түрлері.
4. Нағыз және орташа жылуsыйымдылықтар.
5. c_p және c_v жылуsыйымдылықтарының қатынасы.

Әдебиет:

1. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высшая школа, 1975.
2. Александров Н.Е., Богданов А.И. и др. Основы теории тепловых процессов и машин. Ч.1. / Под ред. Н.И. Прокопенко. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006.
3. Вукалович М.П., Новиков Н.И. Термодинамика. – М.: Машиностроение, 1972.
4. Дрыжаков Е.В. и др. Техническая термодинамика. / Под ред. В.И. Крутова. – М.: Высшая школа, 1971.
5. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика. – М.: Высшая школа, 2007.
6. Лобанов В. И., Ясников Г. П., Гордон Я. М. и др. / Под ред. А. С. Телегина. Техническая термодинамика. – М.: Metallurgy, 1992.