

Т.Бижигитов 

физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор,
М.Х.Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,
Тараз қ., Қазақстан
bizhigitov_temirhan@bk.ru

Г.Х. Оразымбетова 

Магистр, аға оқытушы
М.Х.Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті
Тараз қ., Қазақстан
gkh.orazymbetova@dulaty.kz

МҰЗДЫҢ ФАЗАЛЫҚ ДИАГРАММАСЫНДАҒЫ 1h МҰЗ ТҮРІНІҢ СЕРПІМДІЛІК ЖӘНЕ ЖЫЛУЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ТЕМПЕРАТУРАНЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Ғылыми мақалада 300 МПа және 500 МПа қысымдар мен (100 – 170) К температура аралығында мұздың төменгі температурасы мен жоғары қысымдағы фазалық диаграммасындағы 1h мұз түріндегі ультрадыбыс толқындарының жылдамдықтары мен көлемдерінің өзгерістері алғаш рет тәжірибе жүзінде өлшеніп, теориялық тұрғыдан көлемдік жылулық ұлғаю коэффициентінің, келтірілген және Дебай температурасы мен меншікті жылу сыйымдылығының тұрақты қысымдарда температураға тәуелділіктері есептеліп, графиктері тұрғызылды. Ғылыми – зерттеу жұмысында үлгінің көлемінің өзгерісінің температураға тәуелділігін өлшеу, жылулық көлемдік ұлғаю коэффициентін бағалауға мүмкіндік туғызды. 1h мұз түрінің изобаралық өзгерістердегі көлемдік ұлғаю коэффициентін есептеу фазалық түрленуге дейін $V=V(T)_P$ графикін дифференциалдау $\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$ арқылы таптық. Тәжірибелік өлшеулер жүргізу үшін қондырғы [1] жинастырылды. Оның бірінші бөлігі жоғары қысым (0 – 2500) МПа мен төменгі (90 – 250 К температурада жұмыс істейтін үш қабатты поршень – цилиндр типті камерадан, ал екінші бөлігі камераның ішінде орналасқан үлгінің температурасы мен қысымын автоматты түрде өзгертіп, бақылайтын өлшеуіш құралдан, үшіншісі зерттелетін 1h мұз түрінде тарайтын серпімді толқындардың жылдамдықтарын өлшейтін ультрадыбысты импульсті жүйеден тұрады. Поршеньнің орын ауыстыруы, үлгінің температурасы мен қысымын өзгерістерін өлшеу автоматтандырылған жүйенің көмегімен іске асырылды. Қондырғы мұздың P – T координатасындағы фазалық диаграммасындағы мұз түрлерінің бір – күйден екінші, үшіншісі, бесінші, алтыншы күйлерге түрленулерін зерттеу арқылы тексердік. Біз жинастырған қондырғыда алынған нәтиже [3] ғылыми мақаланың авторыныңкімен сәйкес келеді.

Тірек сөздер: ультрадыбыстық толқындар, серпімділік коэффициенттер, пьезоэлемент, автоматтандырылған жүйелер, серпімді толқындардың орташа жылдамдығы.

Кіріспе Жер бетіндегі қар мен мұздың массасы жуықтап алғанда $2,42 \cdot 10^{19}$ кг тең. Демек, планетамыздың массасының 0,0004% құрайды. Ал жердің қойнауы мен бетіндегі судың 98 % ащы, 2 % тұщы су болғандықтан, оны

су планетасы деп атайды. Демек, сұйық, қатты, газ күйіндегі судың планетамыздағы тірі организмдердің өсіп – өнуіне, ауа – райына, адам баласының ауыл – шаруашылығындағы, өндіріс орындарындағы, медицина

саласындағы жетістіктерін жақсартуға үлкен ықпалын тигізеді. Планетамыздың бетімен атмосферадағы су мен буының айналымы, Күннің энергиясын космосқа шағылдыру кезіндегі тепе-теңдік күйдің сақталмауы үлкен экологиялық апатқа әкелуі мүмкін. Осыған қарамастан судың және су ерітінділерінің, физикалық, химиялық, биологиялық қасиеттері толыққанды зерттелмеген. Әсіресе жоғары қысым мен төменгі температурадағы мұздың фазалық диаграммасында төменгі температура-ларындағы мұз түрлерінің тепе-теңдік күйдегі шекаралары [1,2] анықталмаған. Диаграммадағы барлық мұз түрлерінің физикалық қасиеттерін сипаттайтын параметрлердің қысым мен температураға тәуекелділіктері зерттелмеген. Мысалы, серпімділік қасиеттеріне, жылусыйымдылықтарына, онда таралатын серпімді толқындардың жылдамдықтарына, термодинамикалық сипаттамалық функцияларына, электрлік қасиеттеріне сыртқы параметрлердің әсерлері белгісіз. 1h мұз түрінің көлемдік ұлғаю коэффициенттерінің теріс болуын, тығыздығының температура төмендегенде ұлғаятын, су тығыздығының $+4^{\circ}\text{C}$ максимал болуын, жылусыйымдылығының аномальді қасиеттерін физиканың заңдылықтарын пайдаланып ұғындыру ғалымдарың қазіргі таңдағы өзекті мәселелеріне жатады. Сондықтан судың, қатты және бу күйлеріндегі физико – химиялық, биологиялық қасиеттерінің сыртқы параметрлеріне тәуелділіктерін зерттеудің теория мен практикада аталатын орны ерекше.

Біз зерттеу жұмыстарын жүргізгенде мұздың жоғары қысым (0-2500)Мпа мен төменгі температурадағы (90-250К) Р-Т координатасындағы фазалық [3] диаграммасын қолдандық.

Материалдар мен зерттеу әдістері.

Теориялық есептеулер барысында Дебайдың қатты денелерді тербелістері бар тұтас орта, әрбір тербелістен энергия квантталады, жоғары температурада қасиеттерін сипаттайтын заң классикалыққа өтеді деген шарттарын қанағаттандыратын қағидаларды пайдаландық. Қазіргі кезде бұл модель қатты денелердің жылулық, серпімділік қасиеттерін, термодинамикалық сипаттамалық функцияларды, меншікті жылусыйымдылықтарының қысым мен температураға тәуелділігін жуықтап есептеуге мүмкіндік береді. Қатты денелердің серпімділік және жылулық қасиеттерін зерттеуді оларда таралатын кума және көлденең толқындардың жылдамқтарын тәжірибелік өлшеулер мен орташа жылдамдықтарын есептеу арқылы іске асырдық. Ол үшін төменде келтірілген формулаларды [4,5] қолданамыз:

$$\bar{C} = \frac{3}{\frac{1}{C_{\text{кума}}^3} + \frac{2}{C_{\text{көлд}}^3}} \quad (1)$$

Мұндағы, $C_{\text{кума}}^3$, $C_{\text{көлд}}^3$ қатты денеде таралатын кума және көлденең толқындардың жылдамдықтары. Тербелісін, меншікті жиілігі ұлғайса, толқын ұзындығы кеміп, меншікті тербеліс саны артады:

$$dz = \frac{4\pi V}{\bar{C}^3} v^2 dv \quad (2)$$

Егер қарастырылып отырған дене N осциллятордан тұрса, жүйедегі тербелістің ең үлкен саны [6,7] мына формуламен өрнектеледі:

$$Z_{\text{max}} = 3N = \frac{4}{3}\pi \frac{V}{\bar{C}^3} v_m^3 \quad (2)$$

Дебайдың теориясындағы дискреттілікті ескерсек, фонондық спектрді анықтаймыз:

$$\bar{C} = \sqrt[3]{\frac{4\pi V}{9N}} v_m \quad (3)$$

немесе Дебайдың сипаттамалық

температурасын

$$T_D = \frac{h\nu}{k} \quad (4)$$

ескерсек, мына формула шығады:

$$\bar{c} = \left(\frac{4\pi V}{9N}\right)^{1/3} \frac{k}{h} \theta \quad (5)$$

немесе

$$T_D = \frac{\beta \bar{c}}{(V)^{1/3}} = \frac{h}{k} \left(\frac{9N}{4\pi}\right)^{1/3} \frac{\bar{c}}{(V)^{1/3}} = \beta \frac{\bar{c}}{(V)^{1/3}} \quad (6)$$

$$\frac{T_D}{T} \gg 1 \quad \text{шарты орындалғанда}$$

Дебайдың жылусыйымдылығын бірінші мүшесімен шектеліп қатарға жіктеп,

$\left(\int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx = \frac{\pi^4}{15}\right)$ ескерсек, төмендегі [8.9.10] өрнекті аламыз:

$$W - W_0 = \frac{3\pi^4}{5} RT \left(\frac{T}{T_D}\right)^3 = \frac{\alpha T^4}{4 T_D^3} \quad (7)$$

бұдан

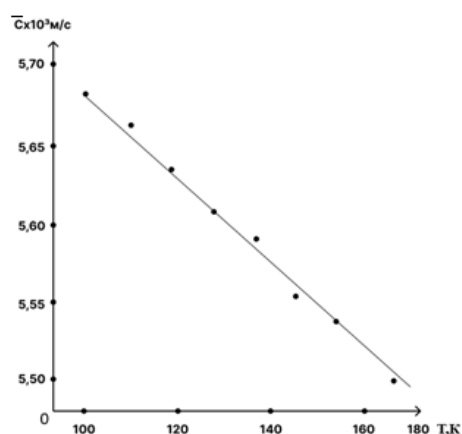
$$c = \frac{12}{5} \pi^4 R \left(\frac{T}{T_D}\right)^3 = \alpha \left(\frac{T}{T_D}\right)^3 \quad (8)$$

Дененің жылусыйымдылығы келтірілген температураның кубына пропорционал.

Үлгінің температурасын оның ішінде орналасқан мыс-константан, температура ретегіштен, айнымалы ток көзінен тұратын жүйенің көмегімен әрбір 10°K температурада бақылап отырдық. Көлемнің өзгерісі поршеннің ілгерілемелі сызықты қозғалысын электр импульстеріне айналдыратын өлшеуіш құралының салыстырмалы қателігі $0,055\%$ құрайды. Қысымның мыс-константан терможұбының электр қозғаушы күшіне әсері ескерілмеді. Өйткені қысымды 400 МПа арттырғанда температураға түзету енгізу 100°C температурада $\pm 2^\circ\text{C}$ тең. Температура төмендегенде түзетудің шамасы кемиді. Сондықтан мыс-константан терможұптық түзетулер енгізілмеді. Зерттеліп отырған үлгідегі қума және көлденең толқындардың жылдамдықтары [8,9] кондырғыларда өлшеніп, орташа жылдамдығы теориялық тұрғыдан есептелді.

Зерттеу нәтижелерін талқылау.

Көлемдік жылулық ұлғаю коэффициентінің, меншікті жылусыйымдылықтың, Дебайдың және келтірілген температураның қысым мен температураға тәуелділіктері №1 кестеде келтіріліп, №1-№8 суреттерде $\bar{c} = \bar{c}(T)_P$, $\beta = \beta(T)_P$, $T_D = T_D(T)_P$, $\frac{T}{T_D} = \frac{T}{T_D}(T)_P$, $\bar{c} = \bar{c}(T)_P$ тәуелділіктерінің графиктері тұрғызылған.



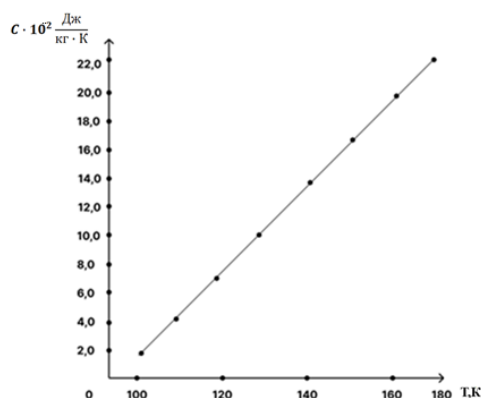
№1-сурет $P=300\text{ МПа}$ қысымда $1h$ мұз түріндегі серпімді толқынның орташа жылдамдығының температураға тәуелділігі.

1 кесте. $1h$ мұз түріндегі ультрадыбыстың орташа жылдамдығының көлемдік ұлғаю коэффициентінің, Дебайдың және келтірілген температураның, меншікті жылу сыйымдылығының 300 МПа , 500 МПа -ғы қысымдарға температураға тәуелділігі

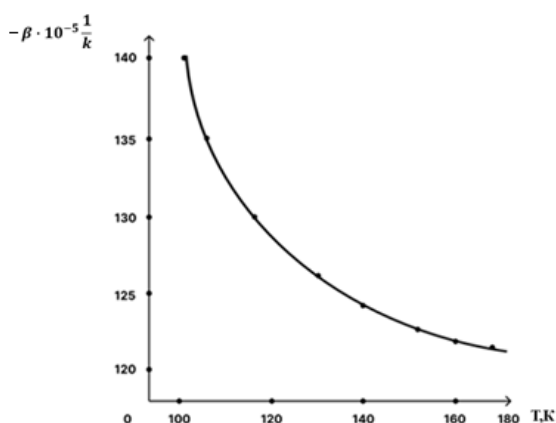
Фа за	P, МПа	T, К	$\bar{c} \cdot 10^3$ м/с	$-\beta$ $\cdot 10^5 \frac{1}{K}$	T_D , К	$\frac{T}{T_D}$	C , $\frac{Дж}{кг \cdot K}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1h	300	100	5,708	140,30	717	0,139	289
		110	5,681	135,41	692	0,158	424
		120	5,653	130,30	665	0,180	628
		130	5,620	127,45	648	0,200	861
		140	5,600	126,10	640	0,217	1100

Мұздың фазалық диаграммасындағы 1h мұз түрінің серпімділік және жылулық қасиеттеріне температураның әсерін зерттеу

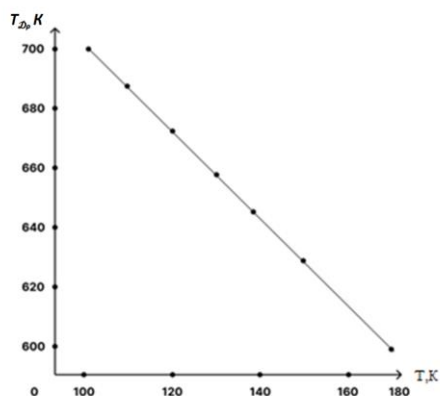
		15 0	5,560	124,0 5	630	0,2 38	1452
		16 0	5,545	123,0 2	612	0,2 61	1915
		17 0	5,500	120,0 4	603	0,2 71	2143
1h	500	10 0	6,700	116,0 0	704	0,1 42	308
		11 0	6500	114,3 1	660	0,1 58	424
		12 0	6,351	112,6 8	595	0,2 05	810
		13 0	6,174	112,1 0	575	0,2 24	1210
		14 0	5,870	110,6 4	555	0,2 43	1545
		15 0	5,700	110,0 0	515	0,2 63	1959



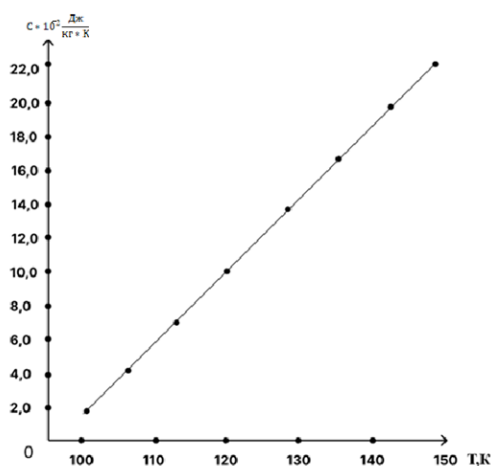
№4 сурет. P=300МПа қысымдағы 1h мұз түрінен меншікті жылу сыйымдылығының температураға тәуелділігі.



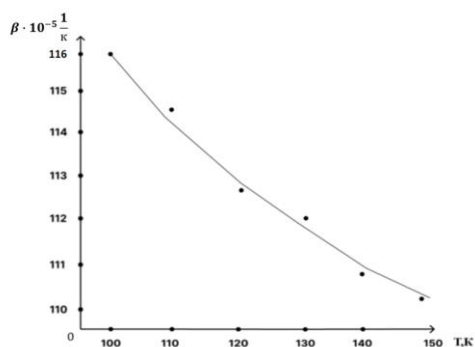
№2 сурет P=300МПа қысымдағы 1h мұз түрінің жылулық көлемдік ұлғаю коэффициентінің температураға тәуелділігі:



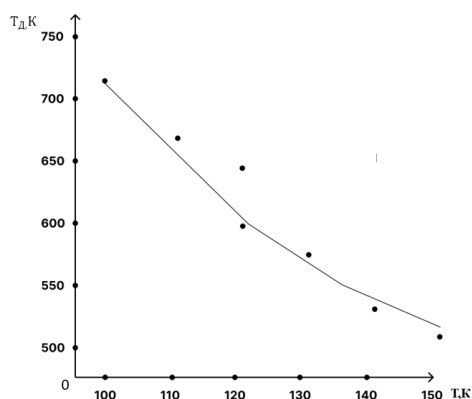
№3-сурет. P=300МПа қысымдағы Дебайдың сипаттамалық температурасының температураға тәуелділігі.



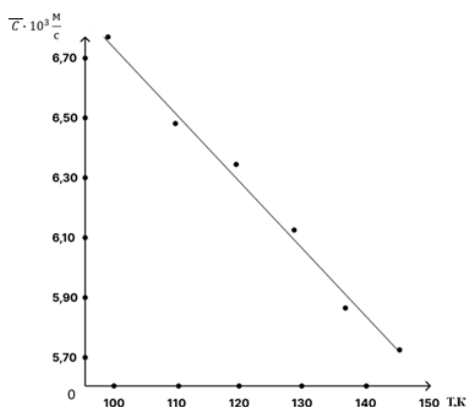
№5-сурет. P=500МПа қысымдағы 1h мұз түрінен меншікті жылу сыйымдылығының температураға тәуелділігі.



№6-сурет. P=500МПа қысымдағы 1h мұз түрінің жылулық көлемдік ұлғаю коэффициентінің температураға тәуелділігі.



№7-сурет. $P=500\text{ МПа}$ қысымдағы Дебайдың сипаттамалық температурасының температураға тәуелділігі.



№8-сурет.

$P=500\text{ МПа}$ қысымдағы 1h мұз түріндегі серпімді толқынның орташа жылдамдығының температураға тәуелділігі.

№1 кесте мен тұрғызылған графиктерден тұрақты 300 МПа, 500 МПа қысымдарда температура

ұлғайғанда серпімді толқынның орташа жылдамдығының, жылулық көлемдік ұлғаю коэффициентінің, Дебайдың сипаттамалық температурасының кемитіндігі, келтірілген температура мен меншікті жылу сыйымдылығы артатындығы байқалады. Мұнда тек көлемдік жылулық ұлғаю коэффициентінің температура артқанда кемитіндігі, яғни физикалық заңына бағынбайтындығы, оның аномальді қасиетімен түсіндіріледі. Ал қалған параметрлердің температураға тәуелділіктері физиканың заңдарына бағынады.

Қорытынды. Мұздың төменгі температура мен жоғары қысымдағы фазалық диаграмасында үлкен аймақты алып жатқан мұздың 1h түріндегі кума және көлденең толқындарының жылдамдықтары мен көлемнің өзгерісін өлшеу арқылы алғаш рет орташа жылдамдықтың, жылулық көлемдік ұлғаю коэффициенті мен келтірілген және Дебайдың сипаттамалық температурасының, меншікті жылу сыйымдылығының температураға тәуелділігі бірінші рет Дебай модулін қанағаттандаратын шарттар бойынша анықталып отыр.

Әдебиеттер тізмі

1. Hobbs, P. V. Ice Physics Oxford, Clarendon Press. 1974, 837 p
2. Эизенберг, Д. Кауцтан структура и свойства воды [Текст] / Д.Эизенберг, В.Эизенберг. - Л.: Гидрометеиздат, 1975. с. 280
3. Bizhigitov, T. Study the Diagram of the Thermodynamic State office at High – Pressure and how – Temperature in P / T. Bizhigitov, A. Sembiyeva. – T Coordinate. Journal of Adv. Research in Dynamical control, vol. 11, № 6, 2019
4. Бижигитов, Т. Жалпы физика курсы [Мәтін] / Т.Бижигитов. - «Лантар Books», Алматы 2024, 492 б.
5. Бижигитов, Т. Статистикалық физика. Физикалық кинетика негіздері. Оқулық / Т. Бижигитов. - Алматы, Альманахъ 2022, - 256 б.
6. Смирнова, Н.А. Метод статистический термодинамики и физической химии. Учебное пособие [Текст] / Н. А. Смирнова. - Москва “Высшая школа”, 1982, с. 449

7. Ормонт, Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полу проводников, Учебное пособие [Текст] / Б. Ф. Ормонт. - Москва, "Высшая школа", 1982, с. 519
8. T. Bizhigitov., E. Zhymadilov Methods of mathematical Physics Universitybook, Almaty, "Lantaz books", 2023, page 370
9. T. Bizhigitov, E.Zhymadilov Studu dependence of Yongs, sheer modulus and ultrasonic waves propagation of the VI ice modification to the pressure at a constant temperature. Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National university physics. Astronomy series. №4 (133), 2020.
10. T. Bizhigitov, A. Yelibaatva. The dependence of the compression modulus office – six and the coefficient of volume expansion on pressure and temperature. Bulletin of KazNPU.named after Abai, series "Physical and Mathematical sciences" No. 2(70), 2020

Т.Бижигитов*, Г.Х.Оразымбетова

Таразский университет и.м. М. Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА УПРУГИЕ И ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ВИДА ЛЬДА 1h НА ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЕ ЛЬДА

Аннотация. В научной статье впервые экспериментально измерены изменения скоростей и объемов ультразвуковых волн в виде льда 1h в фазовой диаграмме низкой температуры и высокого давления льда между давлениями 300 МПа и 500 МПа и температурой (100 – 170) К и теоретически рассчитаны температурные зависимости коэффициента объемного теплового увеличения, приведенной и дебайской температуры и удельной теплоемкости при постоянных давлениях, были построены графики. Измерение температурной зависимости изменения объема образца в научно-исследовательской работе позволило оценить коэффициент теплового объемного увеличения. 1h расчет коэффициента объемного увеличения вида льда при изобарических изменениях перед фазовым преобразованием мы нашли путем дифференцирования графика $V=V(T)$. Для проведения экспериментальных измерений была собрана установка. Его первая часть состоит из камеры трехслойного поршнево – цилиндрического типа, работающей при высоком давлении (0 – 2500) МПа и нижней (90 – 250к), а вторая часть-из измерительного прибора, который автоматически изменяет и контролирует температуру и давление образца, расположенного внутри камеры, третья-из ультразвуковой импульсной системы, измеряющей скорости упругих волн, распространяющихся в виде исследуемого льда 1Н живет. Измерения перемещений поршня, изменений температуры и давления образца осуществлялись с помощью автоматизированной системы. Установка была проверена путем изучения превращений типов льда из одного состояния в другое, третье, пятое, шестое на фазовой диаграмме в координате P – T льда. Результат, полученный на собранной нами установке, совпадает с результатом, полученным автором научной статьи.

Ключевые слова: ультразвуковые волны, коэффициенты упругости, пьезоэлемент, автоматизированные системы, средняя наемность упругих волн.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE ELASTIC AND THERMAL PROPERTIES OF THE TYPE OF ICE 1H ON THE ICE PHASE DIAGRAM

Abstract. In the scientific article, for the first time, changes in the velocities and volumes of ultrasonic waves in the form of 1h ice in the phase diagram of low temperature and high pressure ice between pressures of 300 MPa and 500 MPa and temperatures of (100-170) K were experimentally measured and the temperature dependences of the coefficient of volumetric thermal increase, reduced and Debye temperature and specific heat capacity at constant pressures were theoretically calculated., graphs were plotted. The measurement of the temperature dependence of the sample volume change in the research work allowed us to estimate the coefficient of thermal volumetric increase. 1h we found the calculation of the coefficient of volumetric increase in the type of ice with isobaric changes before the phase transformation by differentiating the graph $V = V(T)$. An installation was assembled to carry out experimental measurements. Its first part consists of a three-layer piston-cylindrical chamber operating at high pressure (0-2500 MPa) and a lower one (90-250 K), and the second part consists of a measuring device that automatically changes and controls the temperature and pressure of the sample located inside the chamber, the third consists of an ultrasonic pulse system measuring the velocity of elastic waves propagating in the form of the ice under study is 1H lives. Measurements of piston movements, changes in temperature and pressure of the sample were carried out using an automated system. The installation was tested by studying the transformations of ice types from one state to another, the third, fifth, sixth on the phase diagram in the $P - T$ coordinate of the ice. The result obtained on the installation we have assembled coincides with the result obtained by the author of the scientific article.

Keywords: ultrasonic waves, elasticity coefficients, piezoelectric element, automated systems, average range of elastic waves.

References

1. Hobbs, P. V. Ice Physics Oxford, Clarendon Press. 1974, 837 p
2. Eisenberg, D. Kautan struktura i svojstva vody [Kauttan the structure and properties of water] [Text] / D.Eisenberg, V.Eisenberg. - L.: Gidrometeoizdat, 1975. p. 280
3. Bizhigitov, T. Study the Diagram of the Thermodynamic State office at High – Pressure and how – Temperature in P / T . Bizhigitov, A. Sembiyeva. – T Coordinate. Journal of Adv. Research in Dynamical control, vol. 11, № 6, 2019
4. Bizhigitov, T. ZHalpy fizika kursy [Course of general physics] [text] / T. Bizhigitov. - "Lantar Books", Almaty 2024,492 P.
5. Bizhigitov, T. Statistikalық fizika. Fizikalық kinetika negizderi. Okulyқ [Statistical physics. Fundamentals of physical Kinetics. Textbook] / T. Bizhigitov. - Almaty, Almanac 2022, - 256 P.
6. Smirnova, N.A. etod statisticheskij termodinamiki i fizicheskoy himii. Uchebnoe posobie [Statistical method of thermodynamics and physical chemistry. Textbook] [Text] / N. A. Smirnova. - Moscow "Higher School", 1982, p. 449

7. Ormont, B.F. Vvedenie v fizicheskuyu himiyu i kristallohimiyu polu provednikov, Uchebnoe posobie [Introduction to physical chemistry and crystal chemistry of semi-conductors, Textbook] / B. F. Ormont.- Moscow, "Higher School", 1982, p. 519
8. T. Bizhigitov., E. Zhymadilov Methods of mathematical Physics Universitybook, Almaty, "Lantaz books", 2023, page 370
9. T. Bizhigitov, E.Zhymadilov Studu dependence of Yongs, sheer modulus and ultrasonic waves propagation of the VI ice modification to the pressure at a constant temperature. Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National university physics. Astronomy series. No.4 (133), 2020.
10. T. Bizhigitov, A. Yelibaatva. The dependence of the compression modulus office – six and the coefficient of volume expansion on pressure and temperature. Bulletin of KazNPU.named after Abai, series "Physical and Mathematical sciences" No. 2(70), 2020

6.02.25 ж. баспаға түсті

03.03.25. ж. түзетулермен түсті.

18.03.25 ж. басып шығаруға қабылданды

Мақалаға сілтеме:

Бижигитов, Т. Мұздың фазалық диаграммасындағы 1h мұз түрінің серпімділік және жылулық қасиеттеріне температураның әсерін зерттеу [Мәтін] / Т.Бижигитов, Г.Х. Оразымбетова // Dulary University Хабаршысы. – 2025. – №1. – Б.247-254
<https://doi.org/10.55956/JIXZ7552>



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).