

FTAMP 30.15.15

Т. Бижигитов¹ – негізгі автор, | ©
А.Н. Аманбаева²



ORCID

¹Физ. мат. ғылым. канд., профессор, ²Аға оқытушы

¹<https://orcid.org/0000-0002-1098-6657> ²<https://orcid.org/0000-0003-4404-3398>



^{1,2}М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті,



Тараз қ., Қазақстан



¹Bizhigitov_temirhan@bk.ru

<https://doi.org/10.55956/JOBA8228>

1Н МҮЗ МОДИФИКАЦИЯСЫНЫҢ ЖОҒАРҒЫ ҚЫСЫМ МЕН ТӨМЕНГІ ТЕМПЕРАТУРАЛАРДАҒЫ СЕРПІМДІЛІК ЖӘНЕ ЖЫЛУЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Мақалада алғаш рет тұрақты 130 К, 170 К температураларда 15-680 МПа қысым аралығында 1н мұз модификациясының салыстырмалы көлемінің және онда тарайтын қума, көлденең толқындардың қысымға тәуелділігі тәжірибе жүзінде өлшенді. Тәжірибеден алынған физикалық параметрлерді пайдаланып, физикадан белгілі заңдылықтар мен формулаларды қолданып изотермиялық үдерістер үшін зерттеліп отырған үлгінің көлемдік ұлғаю коэффициентінің, Дебайдың сипаттамалық және келтірілген температурасы мен меншікті жылу сыйымдылықтың қысымға тәуелділіктері есептеліп анықталды. Зерттеу жұмыстарын жүргізу барысында теориялық және практикалық маңыздылығы ерекше мұздың Р-Т координатасындағы фазалық диаграммасы қолданылды. Қатты денелердің механикалық және энергетикалық сипаттамасын беретін жылулық көлемдік ұлғаю коэффициентінің әртүрлі температурасындағы қысымға тәуелділігін анықтау тәжірибемен өлшенген $V(P)$ қисығының бірінші текті фазалық өтуге дейінгі бөлігін дифференциалдау арқылы іске асырылды. Зерттеу кезінде барлық температуралар мен қысымдарда камера мен жоғары және төменгі поршеньдердің қысымға тәуелді деформациялары ескерілді. Камера бөлшектерінің жылулық көлемдік ұлғаюлары шамалы болғандықтан ескерілмеді.

Тірек сөздер: серпімді толқындар, көлемдік жылулық ұлғаю коэффициенті, келтірілген және Дебайдың сипаттамалық температурасы, жоғары қысым мен төменгі температура, жылу сыйымдылықтар.



Бижигитов, Т. 1н мұз модификациясының жоғарғы қысым мен төменгі температуралардағы серпімділік және жылулық қасиеттерін зерттеу [Мәтін] / Т. Бижигитов, А.Н. Аманбаева // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №1(87). – Б.477-484. <https://doi.org/10.55956/JOBA8228>

Кіріспе. Мұз қатты, сұйық, газ күйінде планетамыздың атмосферасында, беті мен қойнауында және тірі организмдерде ең көп кездесетін зат, сонымен қатар адам баласының тұрмыстық өмірінде жиі қолданылатын сұйықтық болып табылады. Ғалымдар соңғы жылдары Жердің атмосферасы мен бетіндегі экологиялық ахуалдың бұзылуын судың айналымына байланысты екендігін дәлелдеп отыр. Планетамызда адам санының көбеюіне және көптеген өндіріс орындарында өтетін технологиялық

үдерісте тұщы суды пайдалануына байланысты жақында оның тапшылығы туралы проблемалар туындайды. Жер беті мен қойнауында кездесетін 2% тұщы судың 1.6% солтүстік полюсте қалыңдығы 5000 метр жететін мұз қабаттарында әртүрлі күйлерде кездесетіндігі дәлелденіп отыр. Сондықтан тұщы судан кристалданған мұздың Р-Т координатасындағы фазалық диаграммадағы мұз модификацияларының механикалық, физикалық және химиялық қасиеттерін зерттеуіміз қажет. Қазіргі таңда мұхиттарда қалқып жүрген орасан үлкен мұз тауларындағы қатты күйлердегі тұщы су оның бетінен қандай тереңдікте орналасқанын, қабатының қалыңдығын анықтау тұщы судан туындайтын қиындықтарды шешуге мүмкіндік береді [1,2]. Мұхит және теңіз суларынан пайда болатын мұздардың механикалық қасиеттері үлкен емес қысым мен температура аралығында зерттелгендері туралы жазылған ғылыми мақалалар бар. Бірақ оның өзі онша көп емес. Ал тұщы судың жоғарғы қысым мен төменгі температурадағы фазалық диаграммасындағы мұз модификацияларын сипаттайтын физикалық параметрлердің қысым мен температураға тәуелділіктері зерттелмеген. Яғни мақалада тәжірибе жүзінде және есептеулердің арқасында алынған нәтижелер практикалық маңыздылығы үлкен өзекті мәселелерді талқылайды.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Қатты денелерде қума толқындармен қатар көлденең толқындар тарайды. Сондықтан біз серпімді толқындардың орташа жылдамдығын аламыз. Ол қарапайым жағдайда төменде келтірілген формуламен өрнектеледі [3,4]:

$$\frac{3}{\bar{v}^3} = \frac{1}{v_{\text{қума}}^3} + \frac{1}{v_{\text{көл}}^3} \quad (1)$$

Тербелістің толқын ұзындығы кеміп немесе меншікті тербелісі артқанда тербеліс саны көбейеді [5].

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

Зерттеп отырған үлгіміз 3N еркіндік дәрежесі бар N осциллятордан тұрады деп алсақ, онда жүйедегі серпімді тербелістің максимал саны мынаған тең:

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

Дебайдың теориясында серпімді тербелістің максимал санын анықтағанда ортаның дискреттілігі ескеріледі. Демек жиіліктік (фонондық) спектрді анықтай аламыз. Орташа $\bar{v}$ жылдамдықты максимал v_m жиілікпен өрнектейік:

$$\bar{v} = \left(\frac{4\pi V}{9N}\right)^{1/3} v_m \quad (4)$$

Дебайдың сипаттамалық температурасын енгізсек [6]:

$$\theta_D = \theta = \frac{h v_m}{k}$$

(4)-формуласы төмендегідей түрленеді:

$$\bar{v} = \sqrt[3]{\frac{4\pi V k}{9N h}} \theta \quad (5)$$

Мұндағы, V – зерттеліп отырған үлгінің көлемі, k – Больцман тұрақтысы, h – Планк тұрақтысы. Ортаның сипаттамалық температурасы серпімді толқынның орташа жылдамдығына пропорционал:

$$\theta = \frac{h}{k} \sqrt[3]{\frac{9N}{4\pi}} \frac{\bar{v}}{\sqrt[3]{V}} = \frac{\beta \cdot \bar{v}}{\sqrt[3]{V}} \quad (6)$$

Дебайдың моделі бойынша $\frac{\theta_D}{T} \gg 1$ немесе $\theta_D \gg T$ болғанда тұрақты көлемдегі жылу сыйымдылық төменде келтірілген формуламен есептеледі:

$$C_V = \frac{12}{5} \pi^4 R \left(\frac{T}{\theta}\right)^3 = b \left(\frac{T}{\theta}\right)^3 \quad (7)$$

$$b = 2,4 \cdot 97,2 \cdot 8,31 = 1938,75 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} = \frac{1938,75}{0,018} \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} = 107708 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Қазіргі таңда қатты денелердің атомдарының бір бірімен әсерлерін, байланыс энергияларын, жылулық серпімділік қасиеттерін сипаттауда жуықтап алынған Дебайдың теориясының рөлі өте үлкен. Есептеулер жүргізгенде (1)- және (7)-формуларды қолдандық. 1h поликристалл мұз модификациясының температурасы мен қысымы оның ішінде орналасқан мыс-константан термोजұбының және қалайы мен галлийдің электр кедергісін өлшеу арқылы іске асырылды. Зерттелетін үлгідегі ультрадыбыс толқындарының жылдамдықтары импульсті қондырғыда өлшенді [7,8].

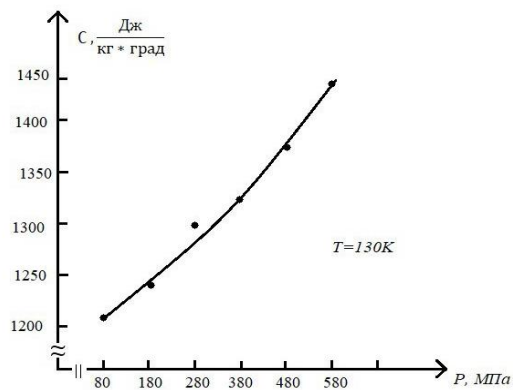
Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. 1-кестеде тәжірибе жүзінде және теориялық есептеулерден алынған 1h мұз модификациясындағы ультрадыбыс жылдамдығының, Дебай және келтірілген температураларының қысымға тәуелділігі көрсетілген.

Кесте 1

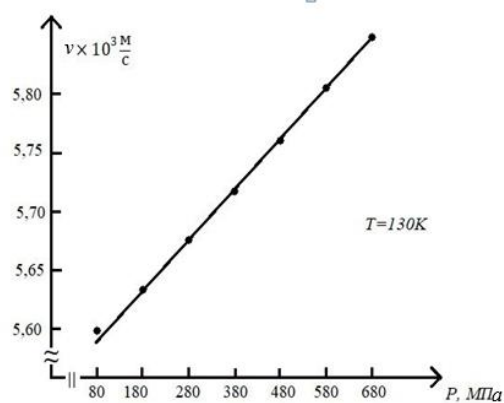
1h мұз модификациясының $T=130\text{K}, T=170\text{K}$ температурасындағы $v = v(p)$, $\beta = \beta(p)$, $\theta_D = \theta_D(p)$, $\frac{T}{\theta_D} = \frac{T}{\theta_D}(p)$, $c = c(p)$ тәуелділіктері

Фаза	T, K	P, МПа	$\bar{v} \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$-\beta \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{К}}$	θ_D, K	$\frac{T}{\theta_D}$	$C, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
1h	130	80	5,60	115	578,61	0,224	1213
		180	5,63	113	574,01	0,226	1228
		280	5,67	110	566,10	0,229	1301
		380	5,71	108	561,12	0,232	1360
		480	5,74	106	555,14	0,334	1382
		580	5,79	103	546,62	0,338	1438
		680	5,83	102	542,00	0,340	1480
	170	15	4,56	125	510,75	0,333	3921
		45	4,62	123	509,14	0,334	3960
		75	4,68	122	507,06	0,335	4020
		105	4,72	120	505,20	0,336	4080
		135	4,76	117	503,00	0,338	4121
		165	4,79	115	498,86	0,341	4210
		195	4,83	114	496,55	0,342	4280

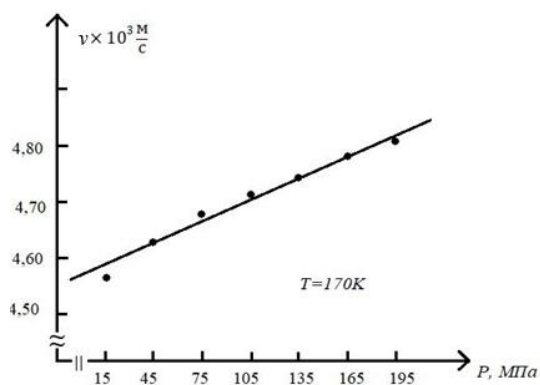
1-6 суреттерде 1h мұз модификациясындағы ультрадыбыс жылдамдығының және жылу сыйымдылығының, Дебай температурасының қысымға тәуелділік графиктері келтірілген.



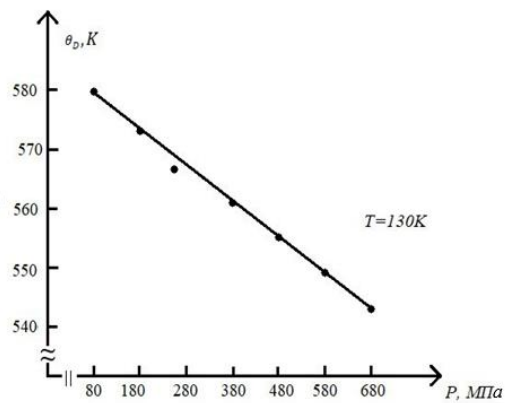
Сурет 1. $T = 130 \text{ K}$ температурада мұздың $c = c(p)$ тәуелділігі



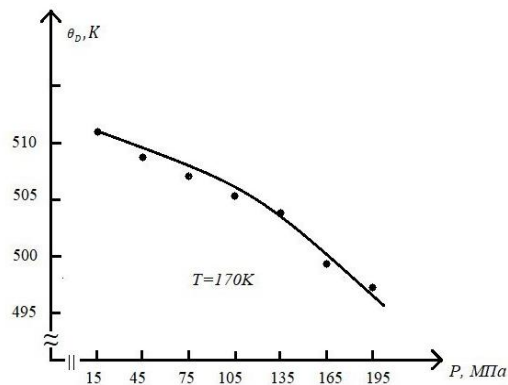
Сурет 2. 1h мұздың $T = 130 \text{ K}$ температурада $\bar{v} = \bar{v}(p)$ тәуелділігі



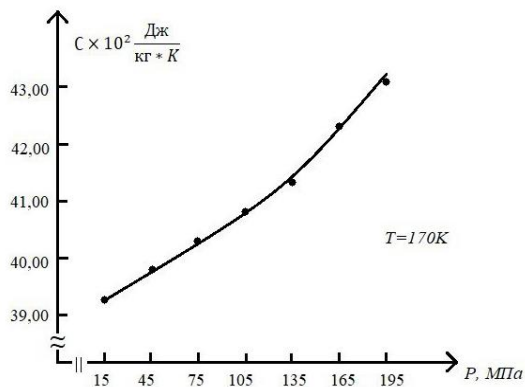
Сурет 3. 1h мұздың $T = 170 \text{ K}$ температурада $\bar{v} = \bar{v}(p)$ тәуелділігі



Сурет 4. Іh мұздың $T = 130$ К температурада $\theta_D = \theta_D(p)$ тәуелділігі



Сурет 5. Іh мұздың $T = 170$ К температурада $\theta_D = \theta_D(p)$ тәуелділігі



Сурет 6. Іh мұздың $T = 170$ К температурада $c = c(p)$ тәуелділігі

Келтірілген кесте мен тұрғызылған графиктерден тұрақты 130 К және 170 К температураларда мұздың Іh модификациясындағы серпімді толқындардың орташа жылдамдығы мен меншікті жылу сыйымдылығы, келтірілген температурасы қысым артқанда өсетіндігін, ал көлемдік жылулық ұлғаю коэффициенті мен Дебайдың температурасының кемитіндігін көреміз. Көлемдік жылулық ұлғаю коэффициенті мен Дебай температурасының кемуі қарастырып отырған мұздың аномальді қасиетімен, яғни көлемдік жылулық

коэффициентін теріс мәндерді қабылдауымен түсіндіріледі $v = v(p)_T$, $\frac{T}{\theta_D} = \frac{T}{\theta_D}(p)_T$ $c = c(p)_T$ тәуелділіктері физиканың заңдылықтарына сәйкес келеді. Есептеулер барысында 1h мұз модификациясы Дебайдың модельін қанағаттандырады деп алдық.

Қорытынды. Алғаш рет мұздың Р-Т координатасындағы фазалық диаграммасында орналасқан 1h поликристалл мұз модификациясында тарайтын көлденең және қума толқындардың жылдамдықтары мен үлгінің салыстырмалы көлемдерінің өзгерістерін өлшеу арқылы ультрадыбыс толқынының орташа жылдамдығын, оның көлемдік жылулық ұлғаю коэффициентінің, Дебайдың және келтірілген температураның, меншікті жылу сыйымдылығының изотермиялық үдерістердегі қысымға тәуелділігін есептеп анықтадық.

Теориялық есептеулер барысында қатты денелердің физикалық қасиеттерін сипаттайтын қазіргі таңда ғылымда алатын орны ерекше Дебайдың жуықтап алынған моделі пайдаланылды.

Әдебиеттер тізімі

1. Hobbs, P.V. Ice Physics. – Oxford: Clazendon Press, 1974. – 837 p.
2. Bizhigitov T., Sembayeva A. Study the Diagram of the Thermodynamic State of ice at Heigh-Pressure and low temperature in P-T coordinate // J. of Adv Research in dinamical Control. – 2019. – Vol. 11. – No.6. – P. 1-6.
3. Bizhigitov, T., Zhumadilov, E. Methods of mathematical physics: university book. – Almaty: Lantar books, 2023. – 370 p.
4. Бижігітов, Т. Статистикалық физика. Физикалық кинетика негіздері [Мәтін]: оқулық / Т. Бижігітов. – Алматы: Альманахъ, 2022. – 256 б.
5. Смирнова, Н.А. Методы статистической термодинамики и физической химии [Текст]: учебное пособие / Н.А. Смирнова. – Москва: Высшая школа, 1982. – 449 с.
6. Ормонт, Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников [Текст]: учебное пособие / Б.Ф. Ормонт. – Москва: Высшая школа, 1982. – 519 с.
7. Bizhigitov T., Zhumadilov E. Study dependence of yongs, shear modules and ultrasonic waves propagation of the ice VI modification to the pressure at a constant temperature // Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University Physics Astronomy series. – 2020. – Vol. 133. – No.4. – P. 73-78.
8. Bizhigitov T., Yelibayeva A. The dependence of the comhessionmoduls of ice-six and the coefficient of Volume expansion on pressure and temperature // Bulletin of Abai KazNPU. Series of Physical and mathematical sciences. – 2020. – Vol. 70. – No.2. – P. 166-170.

Материал редакцияға 02.12.24 түсті, 14.03.25 қабылданды.

Т. Бижігітов¹, А.Н. Аманбаева¹

¹Таразский университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ И ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ МОДИФИКАЦИИ ЛЬДА 1Н ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ И НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Аннотация. В статье впервые экспериментально измерена зависимость относительного объема модификации льда 1н от давления в диапазоне давлений 15-680 МПа при температурах 130 К, 170 К и распространяющихся в нем продольных и поперечных волн. Для изотермических процессов с использованием физических параметров, полученных из опыта, известных закономерностей и формул были рассчитаны зависимости коэффициента объемного расширения исследуемого образца, характеристической и приведенной температуры Дебая и удельной теплоемкости от давления. При проведении исследовательских работ были использованы фазовая диаграмма в Р-Т координатах льда, имеющая особое теоретическое и практическое значение. Определение зависимости коэффициента объемного теплового расширения от давления при различных температурах, определяющего механическую и энергетическую характеристику твердых тел, осуществлялось путем дифференцирования части полученной экспериментально кривой $V(P)_t$ до фазового перехода первого рода. При исследовании учитывались зависимости от давления деформации камеры и поршней высокого давления при всех температурах и давлениях. Тепловые объемные расширения камеры не учитывались.

Ключевые слова: упругие волны, коэффициент теплового объемного расширения, приведенная и характеристическая температура Дебая, высокое давление и низкая температура, теплоемкость.

Т. Bizhigitov¹, A. Amanbayeva¹

¹M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

STUDY OF ELASTIC AND THERMAL PROPERTIES OF 1H ICE MODIFICATIONS AT UPPER PRESSURE AND LOWER TEMPERATURES

Abstract. In this article, for the first time, the pressure dependence of the relative volume of ice 1h modification was experimentally measured within the pressure range of 15-680 MPa at constant temperatures of 130 K and 170 K, along with the propagation of longitudinal and transverse waves in the medium. For isothermal processes, based on experimentally obtained physical parameters, known physical laws, and formulas, the pressure dependencies of the volumetric expansion coefficient of the studied sample, the Debye characteristic and reduced temperatures, and the specific heat capacity were calculated. During the research, the phase diagram of ice in P-T coordinates, which holds significant theoretical and practical importance, was used. The determination of the pressure dependence of the volumetric thermal expansion coefficient at various temperatures – which defines the mechanical and energetic properties of solids – was carried out by differentiating the experimentally obtained portion of the $V(P)_t$ curve up to the first-order phase transition. The pressure-dependent deformation of the high-pressure chamber and pistons at all temperatures and pressures was taken into account during the analysis. The thermal volumetric increases of the camera parts were ignored due to their small size.

Keywords: elastic waves, volumetric thermal increase coefficient, characteristic temperature of the given and Debye, high pressure and low temperature, thermal capacities.

References

1. Hobbs, P.V. Ice Physics. – Oxford: Clazendon Press, 1974. – 837 p.
2. Bizhigitov T., Sembayeva A. Study the Diagram of the Thermodynamic State of ice at Heigh-Pressure and low temperature in P-T coordinate // J. of Adv Research in dinamical Control. – 2019. – Vol. 11. – No.6. – P. 1-6.
3. Bizhigitov, T., Zhumadilov, E. Methods of mathematical physics: university book. – Almaty: Lantar books, 2023. – 370 p.
4. Bizhigitov, T. Statistikalыk, fizika. Fizikalыk, kinematika negızderi [Statistical physics. Physics kinematics negizderi]: textbook. – Al'manakh', 2022. – 256 p. [in Kazakh].
5. Smirnova, N.A. Metody statisticheskoy termodinamiki i fizicheskoy khimii [Methods of statistical thermodynamics and physical chemistry]: textbook. – Moscow: Higher School, 1982. – 449 p. [in Russian].
6. Ormont, B.F. Vvedeniye v fizicheskuyu khimiyu i kristallokhiymiyu poluprovodnikov [Introduction to physical chemistry and crystal chemistry of semiconductors]: textbook. – Moscow: Higher School, 1982. – 519 p. [in Russian].
7. Bizhigitov T., Zhumadilov E. Study dependence of yongs,shear modules and ultrasonic waves propagation of the ice VI modification to the pressure at a constant temperature // Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University Physics Astronomy series. – 2020. – Vol. 133. – No.4. – P. 73-78.
8. Bizhigitov T., Yelibayeva A. The dependence of the comhessionmoduls of ice-six and the coefficient of Volume expansion on pressure and temperature // Bulletin of Abai KazNPU. Series of Physical and mathematical sciences. – 2020. –Vol. 70. – No.2. – P. 166-170.