

FİZİKA

SUYUN İSTİDƏN GENİŞLƏNMƏ VƏ İZOTERMİK SIXILMA
ƏMSALLARININ TEMPERATUR VƏ TƏZYİQDƏN ASILILIĞI

E.Ə.MƏSİMOV, B.G.PAŞAYEV, H.Ş.HƏSƏNOV
Bakı Dövlət Universitetinin Fizika Problemləri İnstitutu
P.bakhtiyar@yahoo.com

İşdə suyun sabit təzyiqdə istidən genişlənmə əmsalının (α_p), izotermik sıxılma əmsalının (β_T) və C_p-C_v fərqlinin 280-370 K temperatur, 0.1-100 MPa təzyiq intervalında müxtəlif izobarlarının temperaturdan asılılıqları araşdırılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, β_T -nin temperaturdan asılılığında müşahidə olunan minimum ($T_{\beta_t}^{\min} = 320K$) təzyiqdən asılı olaraq dəyişmir, α_p -nin və C_p-C_v fərqlinin temperaturdan asılılığını xarakterizə edən izobarlar isə bir nöqtədə kəsişirlər ($T_k^{\alpha_p} \approx 322K$, $T_k^{C_p-C_v} \approx 345K$). Müəyyən olunmuşdur ki, $\alpha_p(T)$ asılılığında izobarların kəsişmə nöqtəsinə uyğun gələn temperatur ($T_k^{\alpha_p} \approx 322K$), $\beta_T(T)$ asılılığında izobarların minimumdan keçdiyi temperaturla ($T_{\beta_t}^{\min} = 320K$), C_p-C_v fərqlinin temperaturdan asılılığında izobarların kəsişmə nöqtəsinə uyğun gələn temperatur ($T_k^{C_p-C_v} \approx 345K$) isə suda səsin sürətinin temperaturdan asılılığında izobarların maksimumdan keçdiyi temperaturla ($T_v^{\max} = 346K$), demək olar ki, eynidir.

Suyun normal atmosfer təzyiqində istidən genişlənmə (α_p) və izotermik sıxılma (β_T) əmsallarının temperaturdan asılılıqları şəkil 1 və 2-də göstərilmişdir [1].

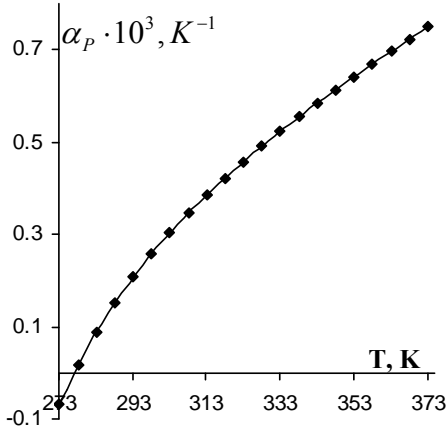
Şəkillərdən görünür ki, suyun normal atmosfer təzyiqində istidən genişlənmə əmsalı (α_p) temperaturun artması ilə artır (şəkil 1), izotermik sıxılma əmsalı (β_T) isə temperaturun artması ilə əvvəlcə azalır, 320 K-də minimumdan keçir, sonra isə artır (şəkil 2).

273-277 K temperatur intervalında α_p -nin qiyməti mənfidir və temperatur aşağı düşdükcə daha böyük mənfi qiymətə malik olur [2]. Termodinamikanın

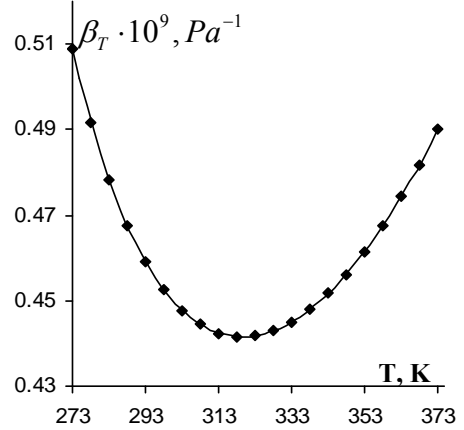
$$-\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = \alpha_p V \quad (1)$$

münasibətindən görünür ki, α_p -nin qiymətinin mənfi olduğu temperatur oblastında təzyiqin artması ilə suyun entropiyası da artmalıdır. Molekulyar səviyyədə bunu

onunla izah etmək olar ki, temperaturun azalması ilə su molekullarının lokal nizamlı struktur yaratmaq meyli artır. Bu nizamlı strukturlar kiçikölçülü buz kristallarına bənzəyir və onlar, buzda olduğu kimi, çalırlar ki, daha böyük həcm tutsunlar. Belə olan halda entropiya azaldı, lakin təzyiqin artması belə nizamlı strukturların yaranmasına mane olur. Odur ki, 277 K temperaturdan aşağı temperaturlarda təzyiqin artması ilə entropiya artır və $\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T$ müsbət olur, sabit təzyiqdə həcm artması ilə entropiya azalır və $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_p$ mənfi olur.



Şək. 1. Normal atmosfer təzyiqində suyun istidən genişlənmə əmsalının temperaturdan asılılığı.



Şək. 2. Normal atmosfer təzyiqində suyun izotermik sıxılma əmsalının temperaturdan asılılığı.

277 K-dən böyük temperaturlarda α_p -nin qiyməti müsbətdir və temperaturun artması ilə onun qiyməti artır (şəkil 1). (1) münasibətinə görə α_p -nin qiymətinin müsbət olduğu oblastda temperaturun artması ilə həcm də artmalıdır. Doğrudan da təcrübə göstərir ki, temperaturun 277 K qiymətindən başlayaraq temperaturun artması ilə suyun həcmi də artır [1]. Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, suyun həcmnin artması ilə su molekulları nizamlı struktur (klaster, tetraedrik, oktaedrik, kubik, dodakaedrik, ikosaedrik və s.) yaratmaq imkanına malik olurlar. Belə strukturların yaranması nəticəsində suyun entropiyası azalır. Beləliklə, (1) münasibəti yuxarı temperaturlarda da α_p -nin temperaturdan asılılığını izah edir. Bir faktı da qeyd edək ki, su molekulları arasında hidrogen rabitəsinin varlığı və bu rabitənin istiqamətliyə, mütəhərrikiyə və kooperativliyə malik olması suda xarici faktorlardan asılı olaraq hər an yeni strukturun əmələ gəlməsinə imkan verir. 277 K-dən böyük temperaturlarda α_p -nin temperaturdan asılılığına aid olan mülahizələri β_T -nin temperaturdan asılılığına da aid etmək olar. Beləliklə, birqiymətli deyə bilərik ki, suyun həcmnin istidən genişlənmə və izotermik sıxılma əmsallarının temperaturdan asılılıqlarında müşahidə olunan qanunauyğunluqlar onun strukturu ilə əlaqədardır.

Təqdim olunan işdə suyun istidən genişlənmə, izotermik sıxılma əmsallarının və C_p-C_v fərqi 280-370 K temperatur, 0.1-100 MPa təzyiq intervalında müxtəlif izobarlarının temperaturdan asılılıqları araşdırılmışdır. Müxtəlif təzyiq və temperaturda suyun sıxlığının qiymətləri [3]-dən götürülmüşdür.

Termodinamikadan məlumdur ki, istidən həcm genişlənmə və izotermik sıxılma əmsalları

$$\alpha_p = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (2)$$

$$\beta_T = - \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_T \quad (3)$$

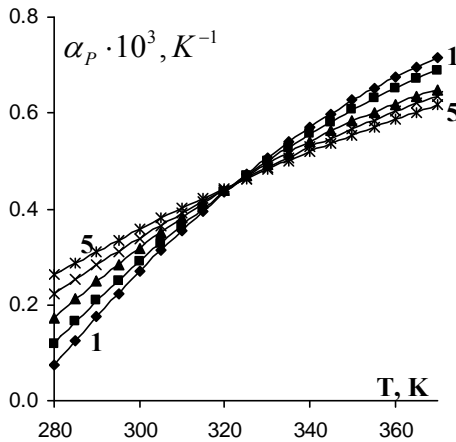
uyğun olaraq (2) və (3) düsturları ilə hesablanır [2]. Bu düsturlarla α_p və β_T -ni hesablamaq üçün hər bir izobar və izoterm üçün uyğun olaraq, $\rho(T) = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3$ və $\rho(P) = b_0 + b_1P + b_2P^2 + b_3P^3$ asılılıqları qurulmuşdur. Yazılmış polinom tənliklərə daxil olan $a_0, a_1, a_2, a_3, b_0, b_1, b_2, b_3$ sabitləri riyazi optimallaşma metodu ilə təyin edilmişdir. Bu polinomları yuxarıdakı tənliklərdə nəzərə alsaq, α_p və β_T -ni hesablamaq üçün aşağıdakı ifadələri alarıq:

$$\alpha_p = - \frac{1}{\rho} (a_1 + 2a_2T + 3a_3T^2) \quad (4)$$

$$\beta_T = \frac{1}{\rho} (b_1 + 2b_2P + 3b_3P^2) \quad (5)$$

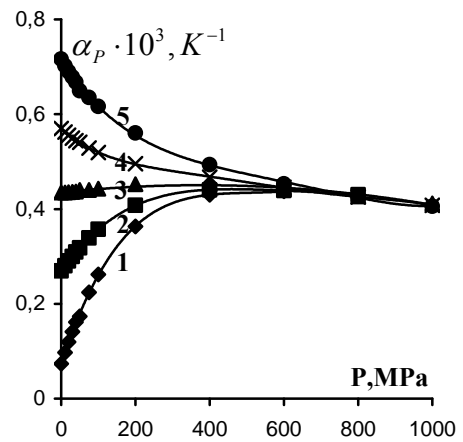
Baxılan işdə α_p və β_T kəmiyyətləri (4) və (5) ifadələri ilə hesablanmışdır.

Suyun istidən genişlənmə əmsalının müxtəlif izobarlarının temperaturdan, müxtəlif izotermliyinin təzyiqdən asılılıqları uyğun olaraq 3 və 4 sayılı şəkillərdə göstərilmişdir.



Şəkl. 3. Suyun istidən genişlənmə əmsalının müxtəlif təzyiqlərdə temperaturdan asılılığı:

1-0.1 MPa; 2-20 MPa; 3-50 MPa;
4-75 MPa; 5-100 Mpa.



Şəkl. 4. Suyun istidən genişlənmə əmsalının müxtəlif temperaturalarda təzyiqdən asılılığı:

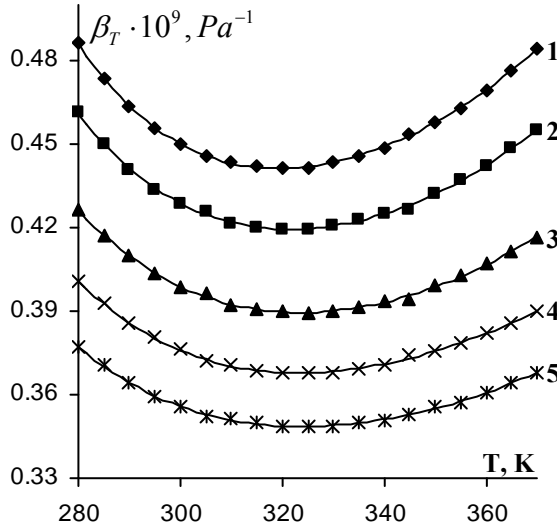
1-280 K; 2-300 K; 3-320 K;
4-340 K, 5-370 K.

Şəkil 3-dən görünür ki, $\alpha_p(T)$ asılılığında hər bir izobarı xarakterizə edən xətlər temperaturun artması ilə artırlar və 322 K-də bir nöqtədə kəsişirlər.

Yəni 322 K-də su üçün $\left(\frac{\partial \alpha_p}{\partial P}\right)_T = 0$ olur. Həmçinin şəkil 3-dən görünür ki,

322 K-dən kiçik temperaturlarda hər bir izoterm üçün α_p -nin qiyməti təzyiğin artması ilə artır, 322 K-dən böyük temperaturlarda isə azalır. Araşdırmalarımız nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, $\alpha_p(T)$ asılılığında izobarların kəsişmə nöqtəsinin kordinatları 1000 MPa təzyiqə qədər, demək olar ki, dəyişmir və təzyiğin ≈ 600 MPa-dan böyük qiymətlərində α_p həm təzyiqdən, həm də temperaturdan asılı olmur (şəkil 4).

Suyun izotermik sıxılma əmsallarının müxtəlif izobarlarının temperaturdan asılılıqları şəkil 5-də göstərilmişdir.



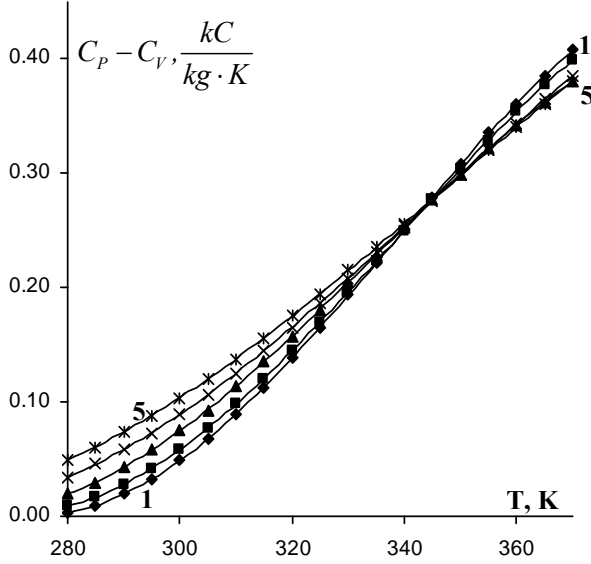
Şəkil 5. Suyun izotermik sıxılma əmsalının müxtəlif təzyiqlərdə temperaturdan asılılığı:
1-0.1 MPa; 2-2 MPa; 3-5 MPa; 4-75 MPa; 5-100 MPa.

Şəkil 5-dən görünür ki, hər bir izobar üçün β_T temperaturun artması ilə azalır, minimumdan keçir, sonra isə temperaturun artması ilə artır. Qeyd edək ki, $\beta_T(T)$ asılılığında müşahidə olunan minimuma uyğun temperatur ($T_{\beta_T}^{\min} = 320K$) baxılan təzyiq intervalında (0.1-100 MPa) dəyişmir.

İşdə müxtəlif təzyiq və temperaturlarda C_p-C_v fərqi

$$C_p - C_v = \frac{T\alpha^2}{\rho\beta_T} \quad (5)$$

düsturundan [2] istifadə etməklə hesablanmışdır. $C_p - C_v$ fərqlinin müxtəlif izobarlarının temperaturdan asılılıqları şəkil 6-da göstərilmişdir.



Şəkil 6. Su üçün $C_p - C_v$ fərqlinin müxtəlif təzyiqlərdə temperaturdan asılılığı:
1-0.1 MPa; 2-20 MPa; 3-50 MPa; 4-75 MPa; 5-100 MPa.

Şəkil 6-dan görüldüyü kimi, $C_p - C_v$ fərqlini xarakterizə edən izobarların temperaturdan asılılıqları $T_k^{C_p - C_v} \approx 345K$ -da ($\approx 72^\circ C$) bir nöqtədə kəsişirlər. Deməli, suda $\approx 345 K$ -də $C_p - C_v$ fərqi təzyiqdən asılı olmur, yəni $\left(\frac{\partial(C_p - C_v)}{\partial P}\right)_T = 0$ olur.

Qeyd edək ki, $C_p - C_v$ fərqlini (5) düsturu ilə və C_p və C_v -nin [3]-dən götürülmüş qiymətləri ilə hesabladıqda alınan qiymətlər çox böyük dəqiqliklə üst-üstə düşür. Həmçinin şəkil 6-dan görünür ki, 345 K-dən kiçik temperaturlarda hər bir izoterm üçün $C_p - C_v$ fərqlinin qiyməti təzyiqin artması ilə artır, 345 K-dən böyük temperaturlarda azalır.

Alınan nəticələr göstərir ki, $\alpha_p(T)$ asılılığında izobarların kəsişmə nöqtəsinə uyğun gələn temperatur ($T_k^{\alpha_p} \approx 322K$), $\beta_T(T)$ asılılığında izobarların minimumdan keçdiyi temperatur ($T_{\beta_T}^{\min} = 320K$), $C_p - C_v$ fərqlinin temperaturdan asılılığında izobarların kəsişmə nöqtəsinə uyğun gələn temperatur ($T_k^{C_p - C_v} \approx 345K$) isə suda səsin sürətinin temperaturdan asılılığında izobarların

maksimumdan keçdiyi temperaturla ($T_v^{\max} = 346K$) [3], demək olar ki, eynidir. Güman edirik ki, yuxarıda qeyd etdiyimiz müxtəlif parametrlərin eyni temperatur oblastında müşahidə olunan qanunauyğunluqları təsadüfə deyil və uyğun oblastda suyun eyni bir struktura malik olmasının nəticəsidir. Həmçinin müxtəlif parametrlərin dəyişməsi nəticəsində suda müşahidə olunan qanunauyğunluqların fərqli temperatur oblastlarına düşməsi suda müxtəlif strukturların olmasını və bu strukturların bir-biri ilə əvəz olunmasını göstərir.

ƏDƏBİYYAT

1. Белоусов В.П., Папов М.Ю. Термодинамика водных растворов неэлектролитов. Ленинград: Химия, 1983, 265 с.
2. Məsimov E.Ə., Həsənov H.Ş. Bioloji sistemlərin termodinamikası. Bakı, Ləman Nəşriyyat Poliqrafiya, 2007, 418 с.
3. Wagner W., Pruß A. The IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use. J. Phys. Chem. Ref. Data, 2002, v. 31, №2, p.486-532.

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ И ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СЖИМАЕМОСТИ ВОДЫ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ

Э.А.МАСИМОВ, Б.Г.ПАШАЕВ, Г.Ш.ГАСАНОВ

РЕЗЮМЕ

В работе анализированы температурные зависимости коэффициента теплового расширения при постоянном давлении (α_p), изотермической сжимаемости (β_T) и разности $C_p - C_V$ и различных изобаров в температурном интервале 280-370 K, в интервале давлений 0.1-100 Мпа. Выявлено, что минимум, наблюдаемый в температурной зависимости β_T не зависит от давления ($T_{\beta_i}^{\min} = 320K$), а изобары, характеризующие α_p и разности $C_p - C_V$, пересекаются в одной точке ($T_k^{\alpha_p} \approx 322K$, $T_k^{C_p - C_V} \approx 345K$). Установлено, что температура, соответствующая минимуму в зависимости $\alpha_p(T)$ и температура, соответствующая точке пересечения изобар в зависимости $\beta_T(T)$ почти одинаковы. То же самое можно сказать о температуре, соответствующей точке пересечения изобар ($T_k^{C_p - C_V} \approx 345K$) в температурной зависимости разности $C_p - C_V$ и о температуре ($T_v^{\max} = 346K$), соответствующей максимуму изобар в температурной зависимости скорости звука в воде.

**THE TEMPERATURE AND PRESSURE DEPENDENCE OF WATER
COEFFICIENT OF HEAT EXTENSION AND OF WATER ISOTHERMAL
COMPRESSIBILITY**

E.A.MASIMOV, B.G.PASHAYEV, H.Sh.HASANOV

SUMMARY

The work analyzes the temperature dependences of the coefficient of heat extension in permanent pressure (α_p) of the isothermal compressibility (β_T) and difference C_p-C_V and various isobars in the temperature interval 280-370 K and in the interval of pressures 0.1-100 MPa. It is detected that the minimum observed in the temperature dependence of the β_T is not dependent on pressure ($T_{\beta_T}^{min} = 320K$), and isobars characterizing α_p and difference C_p-C_V are crossed in one point ($T_{k.\alpha_p} \approx 322K$, $T_{k.C_p-C_V} \approx 345K$). The same is true for the temperature concerned to the crossing point isobars ($T_{k.C_p-C_V} \approx 345K$) in temperature dependence of the difference C_p-C_V and for temperature ($T_v^{max} = 346K$) concerned to the maximum of isobars in temperature dependence of the sound speed in water.