

Т. Бижигитов \* 

<sup>1</sup>Физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор  
М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,  
Тараз қ., Қазақстан  
[bizhigitov\\_temirhan@bk.ru](mailto:bizhigitov_temirhan@bk.ru)

Э. Мадалиева 

Phd доктор, қауымдастырылған профессор  
М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,  
Тараз қ., Қазақстан  
[elmirabegali@mail.ru](mailto:elmirabegali@mail.ru)

## МОЛЕКУЛАЛАРДЫҢ АКТИВАЦИЯЛЫҚ ЭНЕРГИЯСЫН СИПАТТАЙТЫН ФИЗИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРГЕ ТӘУЕЛДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ

**Аңдатпа.** Мақалада сұйықтардың молекулаларының активациялық энергияларын тәжірибе жүзінде анықтайтын құрылғылардың жұмыс істеу принциптеріне сипаттамалар беріліп, олардың бір-бірінен артықтықшылықтары мен кемшіліктері талқыланды. Сұйықтардың динамикалық және кинематикалық тұтқырлық коэффициенттерін анықтайтын параметрлерді өлшеу арқылы активациялық энергияны есептеу әдістері көрсетілген. Молекулалардың активацияның энергияларын пайдаланып релаксация уақытының, динамикалық тұтқырлық коэффициентінің активациялық энергиямен температураға эмпирикалық тәуелділігін сипаттайтын формулалардың физикалық мағыналары жан-жақты талқыланып, олардың физикалық үдерістер мен құбылыстардың механизмдерін толыққанды ұғынуға үлкен ықпалын тигізетіндігі талданған. Сұйықтардың тығыздығы мен динамикалық тұтқырлық коэффициенттерін қолданып, кинематикалық тұтқырлық коэффициенттерін есептеу тәсілі көрсетілген. Тәжірибелік өлшеулер мен физиканың заңдылықтарын өрнектейтін формулаларды пайдаланып активациялық энергияны сипаттайтын заңының қандай параметрлерге тәуелді болатынына теориялық тұрғыдан қорытып шығарылды. Теориялық есептеулердің нәтижесінде алынған формулалардың физикалық құбылыстарды зерттеуде алатын орнына ерекше назар аударылған.

**Тірек сөздер:** активациялық энергия, тұтқырлық коэффициенттері, релаксация уақыты, эмпирикалық тәуелділік.

**Кіріспе.** Ерітінділердің, қоспалардың, биологиялық сұйықтардың, ферро-сұйықтардың физика-химиялық-биологиялық қасиеттерін зерттеу ғылымның өзекті мәселелеріне жатады. Өйткені жоғарыда келтірілген сұйықтар өндіріс орындарында, жұмыс істейтін қондырғылардың механизмдерінде, техникада, медицинада, ауыл шаруашылығында, адам өмірінің тұрмысында жиі қолданылады. Сондықтан оларды әртүрлі салаларды қолданған кезде өтетін үдерістер мен құбылыстарға жаратылыстану ғылымдарының заңдарымен

талдаулар жасаудың практикалық маңыздылығы зор. Мысалы, сұйықтарға қоспалар қосу немесе қысыммен температураның және әртүрлі өрістердің әсер ету арқылы тапсырыс бойынша қажетті сұйықтар алынады. Сұйықтардың беттік керілу және динамикалық, кинематикалық тұтқырлық коэффициенттерін сыртқы параметрлердің көмегімен өзгерту олардың булануларын, ағыстарының жылдамдығын, жұғу - жұқпау, сіңу - сіңбеу қасиеттерін жасанды түрде басқаруға мүмкіндік туғызады. Ферро-сұйықтарға магнит өрісімен әсер ету,

медицина мен технологиялық үдерістерде көптеген проблемаларды шешуге үлкен ықпалын тигізеді.

**Зерттеу шарттары мен әдістері:** Молекулакинетикалық теорияның негізгі заңдарын пайдаланып, сұйықтың молекулаларының активациялық энергия-сының тығыздыққа, температураға, тұтқырлық коэффициенттеріне тәуелділігін сипаттайтын формуланы қорытып шығарайық. Жүйедегі молекуланы бір күйден екінші күйге көшіруге жұмсалған энергияны анықтау үшін ол сұйықты сипаттайтын динамикалық тұтқырлық коэффициентінің формуласын жазамыз [1,2]:

$$v_g = B \exp\left(\frac{W_a}{kT}\right) = B \exp\left(\frac{W_a * N_A}{RT}\right) \quad (1)$$

Мұндағы,

$W_a$  — активациялық энергия,  $R$  — универсал тұрақты шама,  $T$  температура,  $k$  — Больцман тұрақтысы,  $N_A$  — Авогадро тұрақтысы,  $B$  температураға тәуелді өзгеріп отыратын коэффициент, немесе релаксация уақыты арқылы өрнектесек, төмендегі формуланы аламыз [3,4]:

$$T = T_0 \exp\left(\frac{W_a}{kT}\right) = T_0 \exp\left(\frac{W_a * N_A}{RT}\right) \quad (2)$$

Мұндағы,  $T$  жүйенің тепе-теңдік күйіне оралуына кеткен уақыт,  $T_0$  температураға тәуелді айнымалы коэффициент

(1) теңдікке натурал логарифмді қолдансақ, ол төмендегідей түрленеді:

$$\ln v_g = \frac{W_a * N_A}{RT} + \ln B \quad (3)$$

(3) формуласы сызықты теңдеумен өрнектелетіндіктен, төмендегідей түрлендіреміз:

$$\ln v_g = f(T^{-1}) \quad (4)$$

Ғалымдар сұйықтың ( $v_g$ ) динамикалық тұтқырлық коэффициенті мен температура

сызықты функциямен байланысатындығын дәлелдеген [3,4,5]:

$$\eta = f(T) \quad (5)$$

Біз сұйықтардың тұтқырлық коэффициентін анықтау үшін Пуазейль формуласын қолдандық [5,6]:

$$v_g = \frac{z^4 \Delta p \pi t}{8 V \eta h} \quad (6)$$

Мұндағы,  $z$  сұйық ағып шығатын құбырдың радиусы,  $\Delta p$  құбырдың ұштарындағы қысымдар айырымы ( $\Delta p = p_2 - p_1$ ),  $h$  — құбырдың ұзындығы,  $v$ , уақытта құбырдан ағып шығатын сұйықтың көлемі. Келтірілген физикалық параметрлерді тәжірибелік өлшеулер жүргізу арқылы анықтап аламыз. Олай болса, эталон үлгі үшін мына теңдік орындалады:

$$v_{g0} = \frac{z^4 \Delta p_0 t_3 \pi}{8 V_0 L} \quad (7)$$

(6) және (7) өрнектерінен төмендегі қатынасты аламыз:

$$\frac{v_g}{v_{g0}} = \frac{t_3 \Delta p_0}{t \Delta p} \quad (8)$$

Сұйықтың ауырлық күшінің әсерінен ағып шығуы мына өрнекпен сипатталады:

$$\frac{\Delta p}{\Delta p_0} = \frac{\rho_3}{\rho} \quad (9)$$

Мұндағы  $\rho_3$  мен  $\rho$  эталон және зерттелетін сұйықтардың тығыздықтары, немесе

$$\frac{v_{g0}}{v} = \frac{\rho_3 \cdot t_3}{\rho \cdot t} \quad (10)$$

Бұдан

$$v_g = \frac{\rho_3}{\rho} \cdot \frac{t}{t_3}$$

немесе

$$\frac{\rho}{v_g} = \frac{\rho_3}{\eta_3} \cdot \frac{t}{t_3} \quad (11)$$

$\frac{v_g}{\rho} = \gamma$  деп алсақ, теңдік төмендегідей түрленеді:

$$\gamma = \gamma_0 \frac{t}{t_3} \quad (12)$$

Мұндағы  $\gamma$  – сұйықтық кинематикалық тұтқырлық коэффициенті.

Жоғарыда келтірілген өрнектерден молекулалардың ( $v_g$ ) динамикалық және ( $\gamma$ ) кинематикалық коэффициенттері есептелетін төмендегі формулалар шығады:

$$v_g = B \cdot \exp\left(\frac{W_a N_a}{RT}\right) = B \cdot \exp\left(\frac{W_a}{kT}\right)$$

Сұйықтардың кинематикалық тұтқырлық коэффициенттерінің айырмашылығы шамалы болса, мына қатынасты аламыз:

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \exp\left[\left[\frac{W_a}{k}\right]\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right)\right] = \left[\frac{W_a N_a}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right] \quad (13)$$

Теңдікті натурал логарифмдесек, төмендегідей түрленеді:

$$\ln \frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \ln \frac{\rho_2}{\rho_1} \exp\left[\left[\frac{W_a N_a}{R}\right]\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right] = \ln \frac{\rho_1 W_a}{\rho_2 k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

Келтірілген өрнектен молекулалардың активациялық энергиясын есептейтін формула шығады:

$$W_a = \frac{\left(\ln \frac{\gamma_1 + \ln \frac{\rho_2}{\rho_1}}{\gamma_2 + \ln \frac{\rho_2}{\rho_1}}\right) \frac{R}{N_a} T_1 T_2}{T_1 - T_2} = \frac{\left(\ln \frac{\gamma_1 + \rho_2}{\gamma_2 + \rho_1}\right) k T_1 T_2}{T_1 - T_2} \quad (14)$$

Динамикалық тұтқырлық коэффициентін Стокс әдісімен анықтаймыз. Ал кинематикалық тұтқырлық коэффициенті мына формуламен есептеледі:

$$\gamma = \frac{v_g}{\rho}$$

Зерттеуден алынған нәтижелер және оны талдау

Молекула – кинетикалық негізгі қағидаларын пайдаланып молекулалардың активациялық энергиясының тығыздыққа, кинематикалық тұтқырлық коэффициентіне және температураға тәуелділік формуласы қорытып шығарылды.

Зерттеу жұмысын жүргізетін қондырғының [7] көмегімен өлшенген және есептелген судағы 15% ариель жуғыш затының тығыздығының, динамикалық және кинематикалық тұтқырлық коэффициенттерінің температураға тәуелділік кестесі №1 кесте келтірілген.

1-кесте.

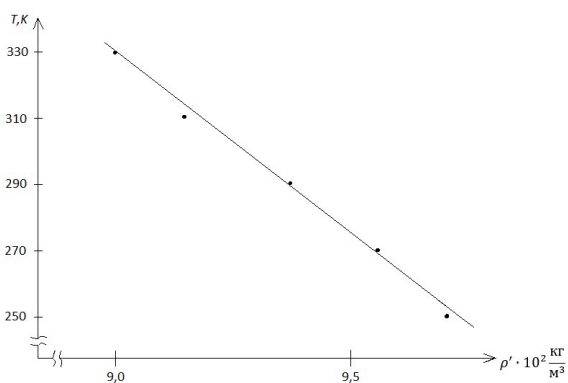
Динамикалық және кинематикалық тұтқырлық коэффициенттерінің температураға тәуелділі

T, K	$\rho' \times 10^2 \frac{kg}{m^3}$	$v_g \times 10^{-4} \frac{m^2}{s}$	$v_k \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$
250	9,70	24,70	2,54
260	9,61	24,08	2,50
270	9,53	23,44	2,45
280	9,46	22,81	2,41
290	9,38	22,19	2,36
300	9,32	21,58	2,31
310	9,24	20,98	2,27
320	9,16	20,33	2,21
330	9,07	19,72	2,17
340	8,98	19,08	2,13
350	8,90	18,45	2,07

Молейкулалардың активациялық энергиясын сипаттайтын физикалық параметрлерге тәуелділігін зерттеу әдістері

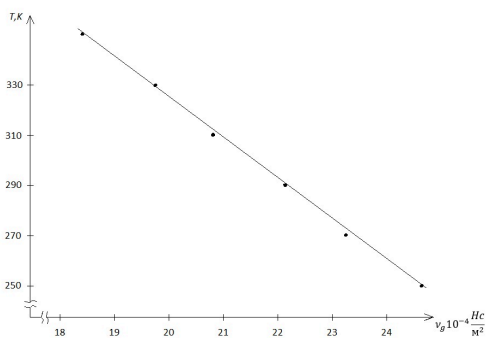
Кестеден температура артқанда жуғыш заттың тығыздығы, динамикалық және кинематикалық тұтқырлық коэффициенттерінің кемитіндігін көреміз. Өлшенген және есептелген жуғыш затты сипаттайтын параметрлерінің температура ұлғайғанда кемитіндігі, ал температура кемігінде артатындығы физикалық заңдылықтарға қайшы келмейді. Зерттеу барысында аномальды құбылыстар байқалған жоқ.

1, 2, 3 суреттерде  $\rho' = f(T)$ ,  $\nu_g = f(T)$ ,  $\nu = f(T)$  тәуелділік графиктері тұрғызылды.



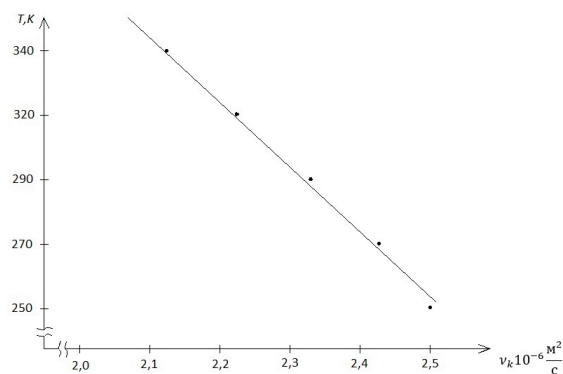
1-сурет.

Зерттелген үлгінің тығыздығының температураға тәуелділігі



2 - сурет.

Зерттелген үлгінің динамикалық тұтқырлық коэффициентінің температураға тәуелділігі



3 – сурет.

Зерттелген үлгінің кинематикалық тұтқырлық коэффициентінің температураға тәуелділігі

Суреттердегі графиктерден судағы 15% ариель жуғыш затының  $\rho$  тығыздығы, динамикалық  $\nu_d$  және кинематикалық  $\nu_k$  тұтқырлық коэффициенттері температураға тәуелділігі сызықты байланыспен кемитіндігін көреміз.

Физиканың заңдылығына байланысты сұйықтың температурасы ұлғайғанда оның молекулаларының хаосты қозғалыстарының жылдамдығы артып бір-бірімен әсерлесу күштерінің шамасы кемиді. Сондықтан сұйықтардың қоюлықтарын сипаттайтын динамикалық және кинематикалық тұтқырлық коэффициенттері кемиді.

Молекулалардың активациялық энергиясын анықтау үшін (1) дәрежелі логариф деп  $W_a$  энергияны табамыз.

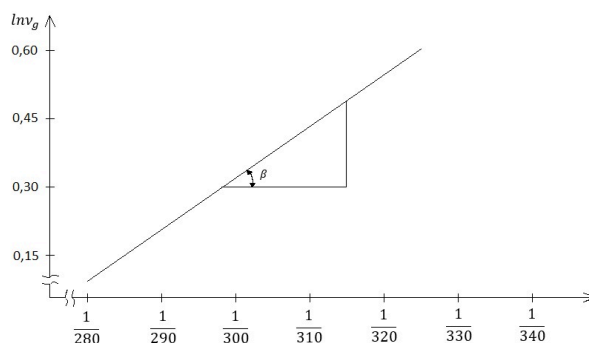
$$\ln \nu_g = \frac{W_a}{RT} + \text{const} = \frac{D}{RT}$$

$$\text{Бұдан } W_a = RD$$

$$\text{Мұндағы, } D = \text{tg} \beta \text{ (№4 сурет) } \ln \nu_g = f\left(\frac{1}{T}\right)$$

функциясын сипаттайтын түзудің  $\frac{1}{T}$

координатасымен жасайтын бұрышының тангенсі



4-сурет.

$\ln v_g = f\left(\frac{1}{T}\right)$  функциясының графигі.

$$W_a = ktg\beta = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{Дж}{К} \cdot 0,95 \frac{1}{К} = 1,31 \cdot 10^{-23} = \frac{Дж}{К}$$

**Қорытынды.** 1. Молекула кинетикалық теорияның заңдылықтарын пайдаланып сұйықтардың молекулаларының активациялық энергиясын сипаттайтын формула қорытып шығарылды.

2. Тәжірибелік өлшеулер мен теориялық есептеулердің алынған нәтижелерді қолданып молекулалардың активациялық энергиясын анықтайтын әдіс жан-жақты талқыланып көрсетілген.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Кикоин, И.К., Кикоин, А.К. Молекулярная физика. Учебное пособие [Текст] / И.К.Кикоин, А.К. Кикоин. - М.: Наука. – 1963.- 498 с.
2. Матвеев, А.Н. Молекулярная физика. Учебник [Текст] / А.Н. Матвеев. - М.: Высшая школа. – 1987.- 359с.
3. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Учебник. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика [Текст] / Д.В.Сивухин М.:«Физматлит». – 2006. - 560с.
5. Бижигитов, Т., Актаев, Е.К. Молекулалық физика, Оқулық [Мәтін] / Т.Бижигитов, Е.К.Актаев. - Алматы: Экономика. – 2017. - 481 б.
6. Кухлинг, Х. Справочник по физике. [Текст] / Х.Кухлинг. – М.: Мир. – 1982.
7. Бижигитов, Т., Сембиева, А., Байтасова, А. Зависимость коэффициента вязкости растворов от напряженности магнитного поля. Наука и мир [Текст] / Т.Бижигитов, А.Сембиева, А.Байтасова. Международный научный журнал - №5 (93). – 2021.13-16 с.

Материал редакцияға 5.01.23 түсті.

Т. Бижигитов\*, Э. Мадалиева

Таразский региональный университет им. М. Х. Дулати, Тараз, Казахстан.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ МОЛЕКУЛ ОТ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЭНЕРГИЮ АКТИВАЦИИ

**Аннотация.** В статье приводятся характеристики принципов работы устройств, которые на практике определяют энергии активации молекул жидкостей, обсуждаются их преимущества и недостатки друг перед другом. Показаны методы расчета энергии активации путем измерения параметров, определяющих коэффициенты динамической и кинематической вязкости жидкостей. Подробно обсуждаются физические значения формул, характеризующих эмпирическую зависимость времени релаксации молекул с энергией активации, коэффициента динамической вязкости от температуры с энергией активации, анализируется, оказывают ли они большое влияние на полноценное понимание механизмов физических процессов и явлений. Показан способ расчета кинематических коэффициентов вязкости с использованием коэффициентов плотности и динамической вязкости жидкостей. С помощью экспериментальных измерений и формул, выражающих законы физики, было выведено теоретическое обобщение того, от каких параметров зависит его закон, характеризующий энергию активации. Особое внимание уделено тому месту, которое формулы, полученные в результате теоретических расчетов, занимают при изучении физических явлений.

**Ключевые слова:** энергия активации, коэффициенты вязкости, время релаксации, эмпирическая зависимость.

T. Bizhigitov\*, E. Madaliyeva - M. Kh. Dulaty Taraz regional university, Taraz, Kazakhstan.

#### METHODS FOR STUDYING THE DEPENDENCE OF MOLECULES ON PHYSICAL PARAMETERS CHARACTERIZING THEIR ACTIVATION ENERGY

**Abstract.** The article describes the principles of operation of devices that practically determine the activation energies of molecules of liquids, discusses their advantages and disadvantages from each other. Methods for calculating the activation energy by measuring parameters that determine the dynamic and kinematic viscosity coefficients of liquids are shown. The physical meanings of formulas describing the empirical dependence of the relaxation time of molecules using the activation energies, the dynamic viscosity coefficient on the temperature with the activation energy are discussed in detail and analyzed that they have a great influence on a full understanding of the mechanisms of physical processes and phenomena. A way to calculate the kinematic viscosity coefficients using the density and dynamic viscosity coefficients of liquids is shown. Using practical measurements and formulas that express the laws of physics, it was theoretically possible to summarize what parameters the law describing activation energy depends on. Particular attention is paid to the place that the formulas obtained as a result of theoretical calculations occupy in the study of physical phenomena.

**Key words:** activation energy, viscosity coefficients, relaxation time, empirical dependence.

#### References

1. Kikoin, I.K., Kikoin, A.K. Molekulyarnaya fizika [Molecular physics]. Textbook [Text] / I.K.Kikoin, A.K. Kikoin. - Moscow: Science. – 1963.- 498 p. [in Russian]
2. Matveev, A.N. Molekulyarnaya fizika [Molecular physics]. Textbook [Text] / A.N. Matveev. - Moscow: Higher School. – 1987.- 359 p. [in Russian]
3. Sivukhin D.V. Obschi kurs fiziki [General course of physics]. Textbook. Volume 2. Thermodynamics and molecular physics [Text] / D.V.Sivukhin Moscow: "Fizmatlit". – 2006. – 560 p. [in Russian]
4. Bizhigitov T., Aktaev E.K. Molekulyarnaya fizika [Molecular physics]. Textbook [Text] / T.Bizhigitov, E.K.Aktaev.- Almaty: Economics. – 2017. - 481 p. [in Russian]
5. Kuhling H. Spravochnik po fizike [Handbook of Physics]. [Text] / H.Kuhling. – Moscow: Mir. – 1982. [in Russian]
6. Bizhigitov T., Sembieva A., Baitasova A. Zabisimost koefisienta biaskosti rastvorov ot napiashonnosti magnitnogo polia [Dependence of the viscosity coefficient of solutions on the magnetic field strength]. Science and the world [Text] / T.Bizhigitov, A.Sembieva, A.Baitasova. International Scientific Journal - №5 (93). – 2021.13-16 p. [in Russian]

**Мақалаға сілтеме:**

Бижигитов, Т.. Молейкулалардың активациялық энергиясын сипаттайтын физикалық параметрлерге тәуелділігін зерттеу әдістері [Мәтін] / Т.Бижигитов, Э. Мадалиева // Dulaty University Хабаршысы. – 2024. - №1. – Б. 242-247. <https://doi.org/10.55956/ANWS4471>