

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLIIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI  
FARG'ONA DAVLAT UNIVERSITETI

**FarDU.  
ILMIY  
XABARLAR**

1995 yildan nashr etiladi  
Yilda 6 marta chiqadi

1-2023

**НАУЧНЫЙ  
ВЕСТНИК.  
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года  
Выходит 6 раз в год

<b>Sh.I.Nurmuradova</b>	
Texnika oliy o'quv yurtlarida rus tilini o'qitish metodikasi va uni tashkil etilishi .....	439
<b>R.N.Nazimov</b>	
Pedagogik texnologiyalar va xorijiy tajribalarning xorij ta'limidagi ahamiyati va uni O'zbekistonda amalga oshirish asoslari.....	445
<b>D.A.Raximjonova</b>	
Ingliz tilshunosligida kompyuter dasturiy ta'minot atamalarining tuzilish xususiyatlari. ....	448
<b>N.Sh.Mamadov</b>	
Amir Temur faoliyatining yoshlarni ma'naviy kamol toptirishdagi roli .....	453
<b>N.D.Djalilova</b>	
Talabalar kommunikativ kompetentsiyani takomillashtirish videomateriallari .....	456
<b>A.U.G'ofurov</b>	
Sport turizmini rivojlantirishning tashkiliy va ijtimoiy-pedagogik asoslari .....	461
<b>O.T.Karimov, F.N.Nurqulov, A.T.Djalilov</b>	
Organik kislota tuzlari bilan modifikatsiyalangan polietilenni termik xususiyatlarini tadqiq etish .....	467
<b>R.N.Muminova</b>	
Madaniy o'simliklarni etishtirishda xlorelladan foydalanish .....	470
<b>A.E.Axtyamov</b>	
Reklama matnlarining pragmatik tahlilida tekstuallikning yettita mezonini .....	474
<b>N.V.Nosirov</b>	
Bo'lajak texnologiya fani o'qituvchilarining metodik kompetentligini rivojlantirish jarayonini takomillashtirishning pedagogik shart-sharoitlari .....	477
<b>F.Yuldashev</b>	
Abu Nasr Forobiy falsafasida aqliy bilish panteizmi.....	481
<b>Sh.Sh.Qosimova, M.M.Darmanov</b>	
In vitro texnologiyasi asosida maxalliy uzum navlarini ko'paytirish. ....	486
<b>S.H.Po'latov</b>	
Abu Homid al-G'azzoliy va Ibn al-Arabiy diniy-falsafiy qarashlarida tasavvuf ta'limotining rivojlanishi .....	490
<b>H.A.Sulaymonov</b>	
Xorijiy tillar grammatikasini o'qitishning umumnazariy masalalari xususida .....	494
<b>N.T.Mirzaxolov</b>	
Sun'iy intellekt – fan-texnika taraqqiyotining yuksak bosqichi (ijtimoiy-falsafiy tahlil) .....	498
<b>G'.B.Samatov, S.Mo'minjonov</b>	
Ikki atomli gazlarda tebranma-ilgarilanma energiya almashinish ehtimolligini hisoblash .....	502
<b>R.Batirov</b>	
Chaqiriqqacha bo'lgan yoshlarda harbiy-amaliy jismoniy tayyorgarlik konseptual xususiyatlarini rivojlantirishning samarali shakl, metod va vositalari .....	508
<b>G.Kozlova</b>	
Kompetensiyaga asoslangan yondashuvni, ta'lim standartlari va tamoyillarini amalga oshirish zarurati .....	512
<b>V.Isaqov, X.Qoraboyev</b>	
<i>Indigofera tinctoria</i> o'simligi va tuproqdagi makroelementlarning o'zgarishi. ....	515
<b>R.R.Sayfullaeva, N.I.G'aybullayeva</b>	
Salomatlik konseptining lingvomadaniy talqini.....	521
<b>A.G'ofurov</b>	
Bo'lajak jismoniy tarbiya fani o'qituvchilarining sport turizmiga tayyorlashning o'ziga xos xususiyatlari .....	526
<b>N.R.Zakirova</b>	
Ta'limda yangi texnologiyalarning ustunliklari.....	532
<b>I.Sharofutdinov</b>	
Ta'limni axborotlashtirish sharoitida bo'lajak pedagoglarning akmeologik kompetentligini rivojlantirish ijtimoiy zarurat sifatida .....	535

**IKKI ATOMLI GAZLARDA TEBRANMA-ILGARILANMA ENERGIYA ALMASHINISH  
EHTIMOLLIGINI HISOBLASH****РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ КОЛЕБАТЕЛЬНО-ПОБУДИТЕЛЬНОГО ОБМЕНА  
ЭНЕРГИЕЙ В ДВУХАТОМНЫХ ГАЗАХ****CALCULATION OF THE PROBABILITY OF VIBRATIONAL-PROMOTIONAL ENERGY  
EXCHANGE IN DIATOMIC GASES****Samatov G'ulom Bozorboyevich<sup>1</sup>, Mo'minjonov Sodiq<sup>2</sup>****<sup>1</sup>Samatov G'ulom Bozorboyevich**

– Guliston davlat universiteti, Fizika-matematika fanlari nomzodi

**<sup>2</sup>Mo'minjonov Sodiq**

– Guliston davlat universiteti, Fizika yo'nalishi magistranti

**Annotasiya**

Maqolada ikki atomli gazlarda tebranma relaksatsiya nazariyasi qaralgan. Tebranma-ilgarilanma energiya almashinish ehtimolligini hisoblashda, yakka bina to'qnashuvlar mexanizmiga asoslanilgan. Ushbu mexanizmga tayangan holda azot gazida tebranma-ilgarilanma relaksatsiya jarayoni o'rganilgan va azot gazi uchun almashinish ehtimolligi ma'lum tempyatura intervalida hisoblangan hamda energiya almashinish ehtimolligining temperaturaga bog'lanishi o'rganilgan.

**Аннотация**

В статье рассмотрены теории колебательной релаксации в двухатомных газах. При вычислении вероятности колебательно-поступательного энергия обмена основывались на механизме бинарных столкновений. На основе механизма бинарных столкновений изучены процессы колебательно-поступательной релаксации и вычислены вероятности энерго-обмена, а также зависимость вероятности обмена от температуры.

**Abstract**

The article considers theories of vibrational relaxation in diatomic gases. When calculating the probability of vibrational-translational energy exchange, we based on the mechanism of binary collisions. On the basis of the mechanism of binary collisions, the processes of vibrational-translational relaxation were studied and the probabilities of energy exchange were calculated, as well as the dependences of the probability of exchange from temperature.

**Kalit so'zlar.** Relaksatsiya, erkinlik darajasi, ilgarilanma harakat, tebranma harakat, tebranma relaksatsiya, ikki atomli gazlar, tebranma-ilgarilanma relaksatsiya, binar to'qnashuvlar, Maksvell taqsimoti, Energetik sig'im.

**Ключевые слова.** Релаксация, степень свободы, поступательное движение, колебательное движение, колебательная релаксация, двухатомные газы, колебательная-поступательная релаксация, бинарные столкновения, распределения Максвелла, Энергетический емкость.

**Key words.** Relaxation, degree of freedom, translational motion, vibrational motion, vibrational relaxation, diatomic gases, vibrational-translational relaxation, binary collisions, Maxwell distributions, Energy capacity.

**KIRISH**

Gazlarda molekularning o'zaro to'qnashish jarayonida energiya almashinish jarayonlarini qaraymiz. Molekularning o'zaro to'qnashishlarida ularning tebranma va aylanma holatlari o'zgaradi. Bu o'zgarishlarda ichki nergiyaning ortishi (aktivatsiya) yoki ichki energiyaning kamayishi (dezaktivatsiya) sodir bo'ladi. Ilgarilanma harakat energiyasining kamayishi yuz beradi va ilgarilanma harakat teskariga o'zgarishi (VRT-jarayonlar). Agar tebranma o'tishlarda molekularning aylanma holati yetarlicha kichik o'zgarsa, bu jarayonlar tebranma va ilgarilanma energiyalarning almashinish jarayonlari VT-jarayonlar deyiladi [1,3]. VRT va VT-jarayonlar ikki atomli molekularning bir atomli molekula bilan to'qnashish jarayonida sodir bo'ladi.

Gazlarda molekularning tebranma harakat erkinlik darajalari bo'yicha energiyaning muvozanatli (yoki stasionar) taqsimotining o'rnatilishiga tebranma relaksatsiya deb ataladi.

Tebranma relaksatsiyaning ilgarilanma va aylanma relaksatsiyadan ajratib turuvchi ikkita muhim hususiyatini ta'kidlaymiz.

Birinchidan, tebranma harakat erkinlik darajalarining energetik sig'imi ilgarilanma va aylanma harakat erkinlik darajalarining energetik sig'imiga nisbatan katta [2].

Ikkinchidan, o'rtacha erkin yugirish vaqti masshtabida tebranma relaksatsiya-juda sekin jarayon hisoblanadi. Ta'kidlash kerakki, ba'zi xollarda tebranma relaksatsiyani kimyoviy reaksiyalarga nisbatan tez o'tadigan jarayon deb qarash mumkin. Xulosa qilib aytish mumkinki, birinchi yaqinlashishda tebranma relaksatsiyani yakka-lang holda qarash mumkin. Bu vaqt ichida aylanma va ilgari lanma erkinlik darajalari bo'yicha muvozanat holat o'rnatilgan, ya'ni ilgari lanma va aylanma relaksatsiya jarayonlari tugagan kimyoviy reaksiyalar esa hali boshlanmagan bo'ladi.

### O'LGHASH METODLARI VA OLINGAN NATIJALAR MUHAKAMASI

Yuqoridagilarni e'tiborga olib, ushbu maqolada ikki atomli gazlarda tebranma-ilgari lanma energiya almashinish ehtimolligini ko'rib chiqamiz.

Tebranma relaksatsiyani taqqoslanarli darajada sekin jarayon ekanligi uning molekulyar kinetikada uning yuqori darajadagi rolini belgilab beradi. Tebranma relaksatsiya Gersfeld va Rays g'oyalari keyinchalik Knezer, Ziner, Landau va Teller tomonidan o'rganilib rivojlantirilgan.

Endi tebranma relaksatsiya vaqtini hisoblash masalasiga o'tamiz. Tebranma relaksatsiya vaqtini baholash maqsadida quyidagi sistemani qaraymiz. A – inert gaz atomlaridan iborat sistema (inert gaz atomi massasi  $m_A$  zarrachalar soni zichligi  $N_A$ ) gaz tarkibiga relaksatsiyalanuvchi  $N_{BC}$  molekular aralashtirilgan. (Molekula massasi  $m_B + m_C$ , zarrachalar soni zichligi  $N_{BC}$   $N_{BC} \ll N_A$ ) Hamma zarrachalarning massa markazlarining ilgari lanma harakati tezliklari  $T$  - temperaturali Maksvell taqsimotiga ega. Molekulalarning tebranma harakat energiyalarining boshlang'ich taqsimoti ixtiyoriy. Faraz qilamiz, bu sistemada tebranma harakat yenergiyasi  $\varepsilon_V$  soddala relaksasion tenglama bilan ifodalanadi.

$$\frac{d\varepsilon_V}{dt} = -\frac{\varepsilon_V - \varepsilon_V^0}{\tau_{VT}} \quad (1)$$

Bu yerda  $\varepsilon_V$  -tebranma harakat energiyasining muvozanat holatdagi qiymati. Energiyaning  $\varepsilon_V$  va  $\varepsilon_V^0$  qiymatlari birlik hajm uchun hisoblanadi. (1) tenglama tebranma relaksatsiya vaqti  $\tau_{VT}$  ni aniqlaydi.

$$\tau_{VT} = \frac{\varepsilon_V^0}{\left. \frac{d\varepsilon_V}{dt} \right|_{\varepsilon_V = 0}} \quad (2)$$

Garmonik ossillyator modeli uchun

$$\varepsilon_V^0 = \hbar\omega N_{BC} \left[ \exp\left(\frac{\hbar\omega}{kT}\right) - 1 \right]^{-1} \quad (3)$$

$\left. \frac{d\varepsilon_V}{dt} \right|_{\varepsilon_V = 0}$  kattalik quyidagi ifodadan topiladi.

$$\left. \frac{d\varepsilon_V}{dt} \right|_{\varepsilon_V = 0} = N_{BC} \int \Delta E_V dZ(v) \quad (4)$$

Bu yerda  $dZ(\nu) = N_A d_{AB}^2 (2\pi)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\mu}{kT}\right)^{\frac{3}{2}} \exp\left\{-\frac{\mu\nu^2}{2kT}\right\} \nu^3 d\nu$  - birlik vaqtda BC

molekulalarning A atom bilan massa markazlari nisbiy tezligining  $\nu, \nu + d\nu$  intervalidagi to'qnashishlar sonini ifodalaydi [1-2].

O'zaro to'qnashayotgan molekulalarning molekulalarning keltirilgan massasi

$$\mu = \frac{m_A(m_B + m_C)}{(m_A + m_B + m_C)} \text{ ga teng.}$$

$\Delta E_V - \nu$  nisbiy tezlik bilan harakatlanayotgan A atom bilan tebranma erkinlik darajalari uyg'onmagan BC molekulaga bitta to'qnashishda uzatilayotgan energiya. (4) ifodani quyidagicha ifodalash qulay. [12-15].

$$\left. \frac{d\varepsilon_V}{dt} \right|_{\varepsilon_V=0} = N_{BC} \int \Delta E_V dZ(\nu) \quad (5)$$

Bu yerda Z – BC molekulaning birlik vaqtdagi to'la to'qnashishlar soni.

$$\Delta E_V = Z^{-1} \int \Delta E_V dZ(\nu), \quad (6)$$

$\varepsilon_V = 0$  relaksatsiya vaqti uchun (2 – 6) larni hisobga olib quyidagi ifodani olamiz

$$\tau_{VT} = \left[ Z \frac{\overline{\Delta E_V}}{\hbar\omega} \left( \exp \frac{\hbar\omega}{kT} - 1 \right) \right]^{-1} \quad (7)$$

$$\overline{\Delta E_V} = \hbar\omega P_{01} \quad (8)$$

To'g'ri  $P_{01}$  va teskari o'tish  $P_{10}$  ehtimolliklari detal muvozanat prinsipi bilan quyidagicha bog'langan.

$$P_{01} = P_{10} \exp\left\{-\frac{\hbar\omega}{kT}\right\} \quad (9)$$

ni e'tiborga olib tebranma redaksasiya vaqti uchun quyidagi ifodani olamiz.

$$\tau_{VT} = \left[ Z P_{10} \left( 1 - \exp \left\{ -\frac{\hbar\omega}{kT} \right\} \right) \right]^{-1} \quad (10)$$

$\overline{\Delta E_V}$  - yoki  $P_{0n}$  ni aniqlash uchun atomning ossilyator bilan to'qnashishi to'g'risidagi dinamik masala yechilishi kerak va  $\Delta E_V(\nu)$  topiladi. Soddalashtirish maqsadida, tebranma harakat energiyasini uzatish uchun eng qulay bo'lgan to'qnashish konfiguratsiyasini qarab chiqamiz. A atomning BC molekula bilan to'qnashishini birinchi yaqinlashishda ossilyatorga  $F(t)$  g'alayonlantiruvchi kuchning ta'siri sifatida qaraymiz [1,2,4,8].

Ossilyatorning, massa markazi sanoq sistemasiga nisbatan, majburlovchi  $F(t)$  kuch ta'siridagi harakatini ifodalovchi harakat tenglamasini quyidagicha yozamiz:

$$\ddot{y} + \omega^2 y = \frac{1}{m} F(t) \quad (11)$$

Uzatilgan (berilgan)  $\Delta E_V$  energiyaning qiymati quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$$\Delta E_V = \frac{m}{2} (\dot{y}^2 + \omega^2 y^2) \Big|_{t \Rightarrow \infty} \quad (12)$$

(12) ifoda umumiy holda ham integrallanishi mumkin buning uchun (12.) ni quyidagi ko'rinishda qayta yozamiz.

$$\frac{d}{dt} (\dot{y} + i\omega y) - i\omega (\dot{y} + i\omega y) = \frac{1}{m} F(t) \quad (13)$$

(13) ning yechimini aniqlab,  $\Delta E_V$  uchun quyidagi ifodani olamiz

$$\Delta E_V = \frac{m}{2} \left( \xi^2 \right) \Big|_{t \Rightarrow \infty} \quad \text{yoki} \quad \Delta E_V = \frac{1}{2m} \left| \int_{-\infty}^{\infty} F(t) e^{-i\omega t} dt \right|^2 \quad (14)$$

Shunday qilib berilgan energiya  $F(t)$  kuchning chastotasi sistemaning xususiy chastotasiga teng bo'lgan Fure komponentasi kvadrating moduli bilan aniqlanar ekan. Boshqacha qilib aytganda, chastotasi sistemaning xususiy chastotasiga teng bo'lgan, Fure komponentagina tebranma erkinlik darajalarini g'alayonlantirish (uyg'otish) uchun samarali bo'lar ekan.  $\Delta E_V$  ni xisoblash uchun  $F(t)$  kuchning aniq ko'rinishini aniqlovchi molekulararo o'zaro ta'sir potensialining ko'rinishini konkretlashtirish zarur.

Hisoblashlar natijasida  $\Delta E_V \approx \exp\{-2\omega\tau_{CT}\}$  (15) ko'rinishda aniqlanadi.

$\omega\tau_{CT} \gg 1$  (16)  $\omega\tau_{CT}$  kattalik adiabatik faktor bilan mos keladi. Demak molekularning tebranma erkinlik darajalarining g'alayonlanish (uyg'onish) jarayoni ko'pchilik molekular uchun adiabatik to'qnashishlarda bo'ladi. Bu holda tebranma erkinlik darajalariga beriladigan energiya umumiy nazariyaga asosan eksponensial kichik natija bo'ladi.  $\Delta E_V$  ni molekular aro o'zaro ta'sir uchun aniq hisoblashlar  $V = C \exp(-ar_{AB})$  (17)

Bu yerda  $r_{AB} = R - \lambda Y$  - A va B atomlarning massa markazlari orasign masofa. Bu holda:

$$F(t) = -a \frac{\mu v^2}{2} \frac{m_C}{m_B + m_C} S ch^2 \frac{a v t}{2}, \quad (18)$$

$\Delta E_V$  uchun esa quyidagi ifoda olinadi

$$\Delta E_V = \frac{a^2 \mu^2 v^4}{(m_B + m_C)^2 8m} \left( \frac{4\pi\omega}{a^2 v^2} \frac{1}{sh \frac{\pi\omega}{av}} \right)^2 \quad (19)$$

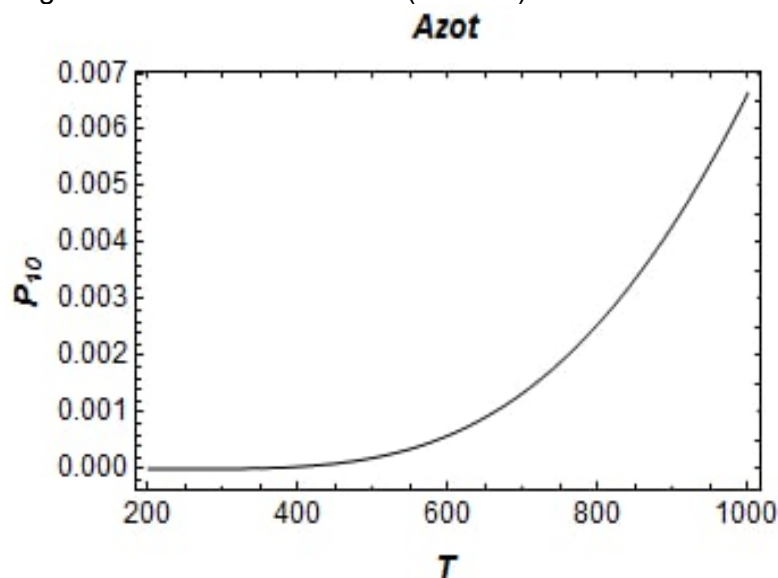
ifoda  $\frac{\pi\omega}{av} \gg 1$  shart bajarilganda  $\Delta E_V = \frac{8\pi^2 \omega^2 \mu^2 m_C^2}{(m_B + m_C)^2 a^2 m} \exp\left\{-\frac{2\pi\omega}{av}\right\}$  (20) ifodaga

o'tadi. [1-5].

Gazlarda tebranma relaksatsiyaning, VT-almashinish ehtimolligini hisoblash formulasi umumiy ko'rinishda quyidagicha yoziladi.

$$P_{10} = 8P_0 P_C V_{10}^2 \left(\frac{\pi}{3}\right)^{\frac{1}{2}} \left[\frac{2\pi\mu\omega}{\alpha^2 \hbar}\right]^2 \chi^{\frac{1}{2}} \exp\left[-\left(3\chi - \frac{\hbar\omega}{2rT} - \frac{\varepsilon}{\kappa T}\right)\right] \quad (21)$$

(21) formula asosida VT- ilgarilanma – tebranma energiya almashinish ehtimolligini hisoblaymiz. Natijada ilgarilanma – tebranma energiya almashinish ehtimolligining temperaturaga bog‘lanish grafigini azot gazi uchun chizish mumkin. (Rasm.1).

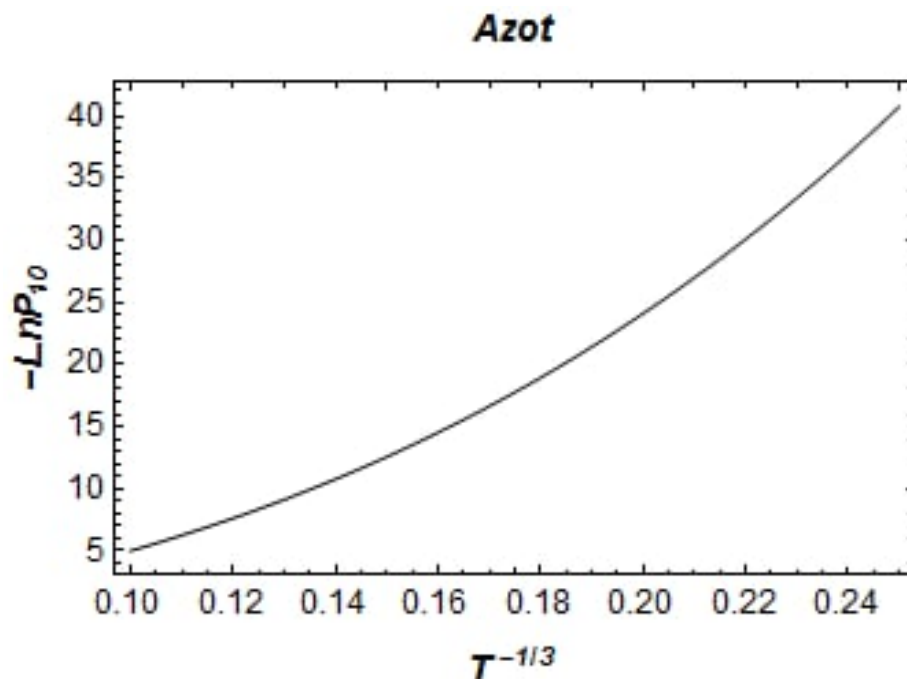


Rasm 1. Gazlarning ilgarilanma-tebranma energiya almashinish ehtimolligining temperaturaga bog‘lanish grafigi.

Ko‘rinib turibdiki bog‘lanish grafigi egri chiziqdan iborat. Ma‘lumki temperaturaviy bog‘lanishning ko‘rinishi asosan (21) formuladagi  $\exp(-3\chi)$  bilan aniqlanadi.[2,3,6-8]

$$\chi = \left(\frac{\pi^2 \mu \omega^2}{2\alpha^2 \kappa T}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (22)$$

Agar  $\ln P_{10}$  ning  $T^{-\frac{1}{3}}$  bog‘lanish grafigini chizsak bog‘lanish to‘g‘ri chiziqdan iborat bo‘ladi. (Rasm.2).



Rasm.2 Gazlarning tebranma-ilgarilanma energiya almashinish ehtimolligining temperaturaga bog'lanish grafigi.

### XULOSA

Xulosa qilish mumkinki, azot gazi uchun ham tebranma-ilgarilanma energiya almashinish

ehtimolligi  $\ln P_{10}$  ning  $T^{-\frac{1}{3}}$  ga bog'lanishi to'g'ri chiziqdan iboratligini ifodalaydi va bu natija Landau- Teller tomonidan olingan natijani tasdiqlaydi.

Qaralayotgan temperatura intervalida olingan natijalar gazlarda tebranma relaksatsiya vaqtining ham  $T^{-\frac{1}{3}}$  ga bog'lanishining to'g'ri xisoblanganligini ko'rsatadi.

### ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, М.Наука, 1986.
2. Гордиец Б. Ф.Осипов А.И., Шелепин Л.А. Кинетические процессы в газах и молекулярные лазеры.- М.Наука, 1980 г.
3. Ступоченко Е.Е., Лосев С.А., Осипов А.И., Релаксационные процессы в ударных волнах, - М.Наука, 1965.
4. Никитин Е.Е. Теория элементарных атомно - молекулярных процессов в газах. – Химия, 1990г.
5. Никитин Е.Е., Осипов А.И. Колебательная релаксация в газах. - М. ВИНТИ, 1987г..
6. Семиохин И.А., Страхов Б.В, Осипов А.И. Кинетика химических реакций .- М. МГУ, 1995, 351 с.,
7. Воскобойников Ю.Е., Задорожный А.Ф., Литвинов Л.А., Черный Ю.Г., Основы вычислений и программирования, Новосибирск, 2012, 218 с.
8. Осипов А.И., Саматов Г.Б. О механизме колебательной релаксации в жидкостях.- Ж.физ.химия, 1991, т,55, №5, 1186-1189,