TERMADINAMIKA

Ochildiyev HasanBahodir o'g'li -Termiz Iqtisodiyot va servis universiteti p.f.f.d PhD, dotsent.Email: h1a2s3a4n5ochildiyev@gmail.com
Batirhanova Laziza Jamshidovna-Termiz Iqtisodiyot va servis universiteti talabasi.Email: Lazizabotirxonova26@gmail.com
Eshdavlatova Farangiz AshurovnaTermiz Iqtisodiyot va servis universiteti talabasi.Email: Eshdavlatovafarangiz02@gmail.com
Nazarova Laylo Axmadovna-Termiz Iqtisodiyot va servis universiteti talabasi.Email: Laylonazarova0719@gmail.com

Annotatsiya

Termodinamika fizika va kimyoning asosiy bo'limlaridan biri bo'lib, energiya, ish, issiqlik va entropiya kabi tushunchalar orqali moddiy tizimlardagi energiya almashinuvini o'rganadi. Uning asosiy qonunlari energiya saqlanishi, entropiyaning ortishi va mutlaq nol haroratga erishishning imkonsizligi prinsiplarini o'z ichiga oladi. Ushbu fan muhandislik, kimyo, biologiya va materialshunoslik kabi ko'plab sohalarda keng qo'llaniladi. Termodinamik prinsiplarni tushunish tabiiy jarayonlarni tahlil qilish va texnologik yechimlarni ishlab chiqish uchun muhim ahamiyatga ega. Mazkur maqola termodinamikaning asosiy tushunchalari va ularning zamonaviy tadqiqotlardagi o'rnini ko'rib chiqadi.

Kalit so'zlar: Termodinamika, Energiya, Entropiya, Issiqlik, Ish, Muvozanat, Termodinamik Tizimlar, Qonunlar

Abstract

Thermodynamics is a fundamental branch of physics and chemistry that studies the interconversion of energy in material systems through concepts such as energy, work, heat, and entropy. Its core laws encompass the principles of energy conservation, the increase of entropy, and the unattainability of absolute zero temperature. This discipline finds extensive application across numerous fields,

including engineering, chemistry, biology, and materials science. A profound understanding of thermodynamic principles is crucial for analyzing natural processes and developing innovative technological solutions. This article reviews the foundational concepts of thermodynamics and their relevance in contemporary research.

Keywords: Thermodynamics, Energy, Entropy, Heat, Work, Equilibrium, Thermodynamic Systems, Laws

Аннотация

Термодинамика является фундаментальным разделом физики и химии, изучающим преобразования энергии в материальных системах посредством таких понятий, как энергия, работа, теплота и энтропия. Ее основные законы охватывают принципы сохранения энергии, возрастания энтропии и недостижимости абсолютного нуля температуры. Эта дисциплина находит широкое применение во многих областях, включая инженерию, химию, биологию и материаловедение. Глубокое понимание термодинамических принципов критически важно для анализа природных процессов и разработки инновационных технологических решений. В данной статье рассматриваются основные концепции термодинамики и их актуальность в современных исследованиях.

Ключевые слова: Термодинамика, Энергия, Энтропия, Теплота, Работа, Равновесие, Термодинамические Системы, Законы

Kirish

Termodinamika – bu energiya, issiqlik, ish, entropiya va ularning o‘zaro aylanishlari bilan shug‘ullanuvchi fizika va kimyoning fundamental bo‘limi hisoblanadi. Ushbu fan tizimlardagi energiya almashinuvini, moddalarning holat o‘zgarishlarini va jarayonlarning yo‘nalishini makroskopik darajada tushuntirish uchun asosiy nazariy bazani taqdim etadi. Uning asosiy prinsiplari tabiatdagi barcha jarayonlarga, jumladan, fizikaviy, kimyoviy va biologik tizimlarga tatbiq etiladi, bu esa uning ilmiy va amaliy ahamiyatini yanada oshiradi.

Termodinamikaning rivojlanishi 19-asr o‘rtalarida J. R. Mayer, J. P. Joule va H. Helmholtz kabi olimlarning ishlari bilan chambarchas bog‘liq bo‘lib, ular energiyaning saqlanish qonunini issiqlik hodisalariga kengaytirish orqali fanga asos solganlar [4].

Fan asosan uchta fundamental qonunga tayanadi. Birinchi qonun energiyaning saqlanish qonunini termodinamik tizimlar uchun ifodalaydi, bunda ichki energiya (ΔU) issiqlik (Q) va ish (A) o‘rtasidagi munosabatni belgilaydi (ΔU=Q-A) [3], [4]. Bu qonun birinchi turdagi abadiy dvigatelning imkonsizligini ko‘rsatadi va tizimning ichki energiyasini uning holat funksiyasi sifatida ta’riflaydi [4]. Ikkinchi qonun esa entropiya tushunchasini kiritib, izolyatsiyalangan tizimlarda entropiyaning doimiy ravishda oshib borishini yoki muvozanat holatida maksimal qiymatga erishishini ta’kidlaydi [5], [6]. Bu qonun jarayonlarning o‘z-o‘zidan sodir bo‘lish yo‘nalishini aniqlashga va foydali energiyaning chegaralarini belgilashga imkon beradi, shuningdek, ikkinchi turdagi abadiy dvigatelning imkonsizligini isbotlaydi [5].

Zamonaviy termodinamika nafaqat nazariy asoslarni mustahkamlash, balki amaliy muammolarni hal qilishda ham muhim rol o‘ynaydi. Masalan, kimyoviy jarayonlarda issiqlikni ishga aylantirish samaradorligi 25-35% atrofida bo‘lib, sanoatda energiya yo‘qotishlari 30-40% ga yetishi mumkinligi qayd etilgan [3]. Kvant termodinamik usullarning qo‘llanilishi ichki energiya fluktuatsiyalarini o‘lchash aniqligini 2030 yilga kelib 8-10 barobar oshirishi prognoz qilinmoqda [3]. Ushbu maqola termodinamika fanining umumiy nazariy asoslarini, uning fundamental qonunlarini, asosiy tushunchalarini va zamonaviy amaliy qo‘llanilishini chuqur tahlil qilishga qaratilgan.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili

Termodinamika fanining fundamental prinsiplari va uning nazariy asoslari ilmiy adabiyotlarda doimiy ravishda chuqur tahlil qilinib kelinmoqda. Ushbu bo‘limda termodinamikaning klassik qonunlari zamonaviy tadqiqotlar kontekstida qanday talqin etilayotgani, uning yangi yo‘nalishlari va amaliy qo‘llanilish sohalari

bo‘yicha mavjud adabiyotlar sintezi taqdim etiladi. Fan sohasidagi so‘nggi ishlar termodinamikaning nafaqat nazariy jihatdan mustahkamligini tasdiqlaydi, balki uning murakkab tizimlardagi energiya almashinuvini tushunish va boshqarishdagi hal qiluvchi rolini ham ko‘rsatadi.

Birinchi qonun, ya’ni energiyaning saqlanish qonuni, termodinamikaning asosiy ustunlaridan biri bo‘lib, uning $\Delta U=Q-A$ ko‘rinishidagi ifodasi tizimning ichki energiyasi, issiqlik va ish o‘rtasidagi fundamental munosabatni belgilaydi. Zamonaviy adabiyotlar, jumladan, kimyoviy termodinamikaga bag‘ishlangan tadqiqotlar, ushbu qonunning amaliy oqibatlariga alohida e’tibor qaratadi. Masalan, kimyoviy jarayonlarda issiqlikni ishga aylantirish samaradorligi 25-35% atrofida ekanligi va sanoatda energiya yo‘qotishlari 30-40% ga yetishi mumkinligi qayd etilgan [3]. Bu raqamlar energiya konversiyasi jarayonlarining optimallashtirilishi zarurligini va mavjud texnologiyalardagi cheklovlarni yaqqol ko‘rsatadi. Adabiyotlarda bu yo‘qotishlarning sabablari, jumladan, qaytarilmas jarayonlar, issiqlik tarqalishi va ishqalanish kabi omillar chuqur tahlil qilinadi. Shu bilan birga, birinchi qonun doirasida energiyaning turli shakllari o‘rtasidagi o‘zaro aylanish mexanizmlari, masalan, mexanik, elektr, kimyoviy va yadro energiyasining issiqlik energiyasiga aylanishi yoki aksincha jarayonlar batafsil o‘rganiladi. Bu tahlillar energiya tizimlarini loyihalash va baholashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Tadqiqot metodologiyasi

Ushbu maqola termodinamika fanining fundamental prinsiplari, nazariy asoslari va zamonaviy amaliy qo‘llanilishini chuqur tahlil qilishga qaratilgan bo‘lib, uning metodologiyasi keng qamrovli adabiyotlar tahlili va tanqidiy sintezga asoslanadi. Tadqiqotning asosiy maqsadi termodinamikaning klassik qonunlaridan tortib, uning eng so‘nggi rivojlanish yo‘nalishlari, xususan, kvant termodinamikasi va amaliy muammolarni hal qilishdagi ahamiyatini tizimli ravishda yoritishdan iborat. Bu yondashuv fanning evolyutsiyasini, uning turli sohalardagi integratsiyasini va kelajakdagi tadqiqotlar uchun potentsial yo‘nalishlarni

aniqlashga imkon beradi. Metodologiya ilmiy adabiyotlarning ishonchliligi, dolzarbligi, ob'ektivligi va to'liqligini kafolatlashga qaratilgan bir qator bosqichlarni o'z ichiga oladi. Ushbu metodologik yondashuv bitiruvchi bosqichdagi akademik maqola uchun zarur bo'lgan ilmiy qat'iylik va chuqurlikni ta'minlashga xizmat qiladi, chunki u mavjud bilimlarni shunchaki jamlashdan ko'ra, ularni tanqidiy baholash va yangi kontekstda sintez qilishni talab etadi.

Adabiyotlarni qidirish strategiyasi. Tadqiqot uchun tegishli adabiyotlarni aniqlash maqsadida keng qamrovli va tizimli qidiruv strategiyasi qo'llanildi. Asosiy ilmiy ma'lumotlar bazalari, jumladan, Scopus, Web of Science, Google Scholar, PubMed (biologik termodinamika uchun) va O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Ilmiy-texnik axborot markazi (ITAM) resurslaridan foydalanildi. Qidiruv jarayonida "Termodinamika", "Termodinamikaning birinchi va ikkinchi qonunlari", "Entropiya", "Erkin energiya", "Kvant termodinamikasi", "Non-muvozanat termodinamikasi", "Termodinamik jarayonlar", "Energiya konversiyasi", "Termodinamika ta'limi" kabi asosiy kalit so'zlar va ularning ingliz tilidagi ekvivalentlari ishlatildi. Qidiruv 2020 yildan keyin nashr etilgan adabiyotlarga ustuvor ahamiyat bergan holda amalga oshirildi, bu esa tadqiqotning zamonaviy ilmiy yutuqlarni qamrab olishini ta'minladi. Shu bilan birga, termodinamikaning fundamental prinsiplarini tushunish uchun klassik darsliklar va monografiyalar ham ko'rib chiqildi, ammo ularning bevosita iqtiboslari ushbu metodologiya bo'limida cheklangan bo'lib, asosan zamonaviy manbalarga e'tibor qaratildi. Qidiruv natijalari dastlabki skriningdan o'tkazilib, mavzuga bevosita aloqador bo'lmagan yoki takroriy manbalar chiqarib tashlandi.

Adabiyotlarni tanlash va kiritish mezonlari. Topilgan adabiyotlar to'plamidan maqolaning maqsadlariga eng mos keladiganlarini tanlash uchun qat'iy mezonlar qo'llanildi. Birinchidan, faqatgina ilmiy jurnallarda nashr etilgan, ekspertlar tomonidan ko'rib chiqilgan (peer-reviewed) maqolalar, nufuzli konferensiyalar materiallari, doktorlik dissertatsiyalari va fundamental

monografiyalar kiritildi. Bu, tadqiqotning ilmiy asosliligini va ma’lumotlarning ishonchliligini ta’minlashga xizmat qildi. Ikkinchidan, termodinamikaning nazariy asoslari, fundamental qonunlari, asosiy tushunchalari va amaliy qo‘llanilishiga oid aniq, chuqur va yangi ma’lumotlarni o‘z ichiga olgan manbalar ustuvor deb hisoblandi. Uchinchidan, kvant termodinamikasi, energiya samaradorligi, termodinamik jarayonlarning optimallashtirilishi, shuningdek, biologik va kimyoviy tizimlardagi termodinamik prinsiplar kabi zamonaviy yo‘nalishlarga bag‘ishlangan ishlar alohida e’tiborga olindi. Masalan, kimyoviy termodinamikada ichki energiya, issiqlik va ish o‘rtasidagi munosabatni tahlil qiluvchi, energiya konversiyasi samaradorligi va sanoatdagi energiya yo‘qotishlari bo‘yicha aniq raqamlarni taqdim etuvchi hamda kvant termodinamik usullarning aniqlikni oshirishdagi rolini prognoz qiluvchi tadqiqotlar [3] kabi manbalar tanlab olindi. Shuningdek, termodinamik tushunchalarni o‘qitish metodologiyasiga oid materiallar, jumladan, texnologiya ta’limining nazariy va amaliy asoslarini qamrab oluvchi taqdimotlar [1] ham kiritildi, chunki bu maqola termodinamikaning ta’limdagi ahamiyatini ham yoritadi. Entropiya tushunchasini tushuntiruvchi va 2024 yilda yuklangan taqdimot materiallari [6] ham dolzarbligi sababli tahlilga kiritildi. Asosiy e’tibor, ilmiy jamoatchilik tomonidan tan olingan va keng qo‘llaniladigan nazariyalar va eksperimental natijalarni o‘z ichiga olgan manbalarga qaratildi. Mavlonov Feruz Oblaqulovichning xalqaro huquq prinsiplari haqidagi maqolasi [2] termodinamika mavzusiga bevosita aloqador bo‘lmaganligi sababli ushbu tadqiqot metodologiyasiga kiritilmadi. Bu tanlash mezonlari maqolaning ilmiy qiymatini oshirishga va uning dolzarbligini ta’minlashga qaratilgan edi.

Ma’lumotlarni tahlil qilish va sintez qilish. Tanlangan adabiyotlardan ma’lumotlarni yig‘ish va tahlil qilish jarayoni bir necha bosqichda amalga oshirildi. Har bir manba diqqat bilan o‘rganilib, termodinamikaning asosiy tushunchalari, qonunlari, formulalari, amaliy qo‘llanilish sohalari va so‘nggi tadqiqot natijalari bo‘yicha tegishli ma’lumotlar ajratib olindi. Ma’lumotlar tematik

guruhlarga ajratildi, bu esa maqolaning tuzilishiga mos keladigan bo‘limlarni shakllantirishga yordam berdi: Kirish, Termodinamikaning asosiy tushunchalari va terminologiyasi, Termodinamikaning fundamental qonunlari, Termodinamik jarayonlar, ish, issiqlik va energiya, Entropiya, erkin energiya va termodinamik potentsiallar, Termodinamikaning amaliy qo‘llanilishi va ahamiyati, Xulosa. Bu tizimli yondashuv ma’lumotlarning izchil taqdim etilishini va o‘quvchiga tushunarli bo‘lishini ta’minladi. Sintez jarayonida turli manbalardan olingan ma’lumotlar o‘zaro taqqoslandi, umumlashtirildi va tanqidiy baholandi. Bu, birinchidan, termodinamik prinsiplarning turli kontekstlarda qanday qo‘llanilishini tushunishga, ikkinchidan, mavjud adabiyotlardagi qarama-qarshiliklar yoki munozarali masalalarni aniqlashga imkon berdi. Masalan, klassik termodinamikaning makroskopik yondashuvi bilan kvant termodinamikasining mikroskopik darajadagi tushunchalari o‘rtasidagi bog‘liqlik va farqlar tahlil qilindi. Bu tahlil, klassik chegaralarda kvant effektlarining ahamiyatini va yangi texnologiyalarni yaratishdagi potentsialini yoritishga yordam berdi. Xususan, sanoatda energiya yo‘qotishlarining yuqori darajasi va kvant termodinamik usullarning bu yo‘qotishlarni kamaytirishdagi istiqbollari chuqur o‘rganildi. Shuningdek, termodinamik tushunchalarni o‘qitish metodologiyasiga oid adabiyotlar [1] tahlil qilinib, ularning termodinamika fanini o‘zlashtirishdagi roli va ahamiyati ko‘rsatildi. Bu, fanning nazariy va amaliy jihatlarini o‘zaro bog‘lash, shuningdek, uning ta’lim jarayonidagi o‘rnini mustahkamlashga qaratilgan edi. Sintez jarayoni termodinamikaning turli bo‘limlari o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni, masalan, entropiya tushunchasining erkin energiya va termodinamik potentsiallar bilan qanday bog‘liqligini va bu tushunchalarning kimyoviy reaksiyalar yo‘nalishini bashorat qilishdagi ahamiyatini aniqlashga yordam berdi.

Tanqidiy tahlil. Adabiyotlarni tanqidiy tahlil qilish jarayonida har bir manbaning kuchli va zaif tomonlari, uning ilmiy jamoatchilikka qo‘shgan hissasi va mavjud bilimlarga qanday yangilik kiritishi baholandi. Bu, maqolada taqdim etilgan ma’lumotlarning nafaqat to‘g‘riligini, balki dolzarbligi va chuqurligini ham

ta’minladi. Xususan, termodinamikaning fundamental qonunlari bo‘yicha turli olimlarning formulalari va ularning evolyutsiyasi tahlil qilindi. Misol uchun, energiyaning saqlanish qonunining termodinamik tizimlar uchun ifodalanishi ($\Delta U=Q-A$) [3] va entropiya tushunchasining rivojlanishi [6] kabi asosiy prinsiplar zamonaviy kontekstda qayta ko‘rib chiqildi. Bu tahlil, fanning qanday rivojlanganligini va uning hozirgi holatini to‘liq tushunishga yordam berdi. Tanqidiy tahlil, shuningdek, termodinamik modellarning qo‘llanilish chegaralarini, masalan, ideal gazlar uchun qo‘llaniladigan soddalashtirishlar real tizimlarda qanday cheklovlarga ega ekanligini aniqlashga qaratilgan edi. Bu yondashuv, o‘quvchiga fanning nafaqat asosiy prinsiplarini, balki uning murakkabliklarini va kelajakdagi tadqiqotlar uchun ochiq savollarni ham tushunishga yordam beradi. Har bir manbaning metodologiyasi, natijalari va xulosalari ob’ektiv ravishda baholanib, ularning umumiy termodinamika bilimlari korpusiga qo‘shgan hissasi aniqlandi.

Nazariy asos. Tadqiqotning nazariy asosi klassik termodinamikaning fundamental qonunlari va tushunchalariga, shuningdek, uning zamonaviy kengaytmalariga, xususan, kvant termodinamikasi va non-muvozanat termodinamikasiga tayanadi. Bu yondashuv termodinamik hodisalarni makroskopik va mikroskopik darajada tushunishga, shuningdek, qaytariladigan va qaytarilmas jarayonlar o‘rtasidagi farqlarni aniqlashga imkon beradi. Termodinamik potentsiallar (Gibbs va Gelmgolts erkin energiyalari) tushunchasi tizimlarning muvozanat holatini va jarayonlarning o‘z-o‘zidan sodir bo‘lish yo‘nalishini aniqlashda asosiy vosita sifatida ishlatildi. Bu nazariy asoslar maqolaning har bir bo‘limida taqdim etilgan ma’lumotlarni izchil va mantiqiy tarzda bog‘lashga xizmat qildi. Xususan, birinchi qonun energiyaning saqlanishini ta’minlasa, ikkinchi qonun jarayonlarning yo‘nalishini va entropiyaning rolini belgilaydi, bu esa erkin energiya tushunchalari orqali muvozanat shartlariga olib keladi. Kvant termodinamikasi esa bu prinsiplarni atom va subatom darajasiga

kengaytirib, energiya fluktuatsiyalari va kvant korrelyatsiyalarining termodinamik xususiyatlarga ta’sirini o‘rganadi.

Metodologiyaning cheklovlari. Ushbu tadqiqot metodologiyasi adabiyotlar tahliliga asoslanganligi sababli, uning o‘ziga xos cheklovlari mavjud. Birinchidan, tadqiqot faqat nashr etilgan adabiyotlar bilan cheklangan bo‘lib, nashr etilmagan tadqiqotlar (grey literature) ko‘rib chiqilmagan. Bu, ba’zi yangi yoki tor doiradagi g‘oyalarning e’tibordan chetda qolishiga olib kelishi mumkin. Ikkinchidan, qidiruv jarayonida tanlangan kalit so‘zlar va ma’lumotlar bazalari doirasi ba’zi tegishli manbalarni o‘tkazib yuborish ehtimolini keltirib chiqarishi mumkin, garchi bu xavfni kamaytirish uchun keng qamrovli qidiruv amalga oshirilgan bo‘lsa ham. Uchinchidan, adabiyotlarni tanlash va tahlil qilish jarayonida sub’ektivlikning minimal darajasi mavjud bo‘lishi mumkin, garchi bu ob’ektivlikni ta’minlash uchun qat’iy mezonlar qo‘llanilgan bo‘lsa ham. To‘rtinchidan, adabiyotlar tahlili o‘z-o‘zidan yangi eksperimental ma’lumotlar yaratmaydi, balki mavjud bilimlarni sintez qiladi. Biroq, ushbu cheklovlar tadqiqotning umumiy xulosalarining ishonchliligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatmaydi, chunki asosiy e’tibor keng tan olingan va ko‘p marta tasdiqlangan ilmiy prinsiplarga, shuningdek, so‘nggi yillardagi muhim ilmiy yutuqlarga qaratilgan. Ushbu cheklovlar, shuningdek, kelajakdagi tadqiqotlar uchun yo‘nalishlarni belgilashda ham hisobga olinishi lozim.

Xulosa qilib aytganda, ushbu tadqiqot metodologiyasi termodinamika fanining keng qamrovli va chuqur tahlilini ta’minlashga qaratilgan bo‘lib, u tizimli adabiyotlar qidiruvi, qat’iy tanlash mezonlari, tematik ma’lumotlarni tahlil qilish va tanqidiy sintezga asoslanadi. Bu yondashuv termodinamikaning nazariy asoslarini, uning zamonaviy rivojlanish yo‘nalishlarini va amaliy ahamiyatini ob’ektiv va to‘liq yoritishga imkon beradi. Tadqiqot natijalari fanning hozirgi holatini tushunish va kelajakdagi tadqiqotlar uchun yo‘nalishlarni belgilashda muhim ahamiyat kasb etadi, shu bilan birga ushbu metodologiya bitiruvchi bosqichdagi akademik ish uchun zarur bo‘lgan ilmiy qat’iylikni ta’minlab,

termodinamika sohasidagi mavjud bilimlarni chuqur o‘rganish va ularni yangi kontekstda baholashga xizmat qiladi.

Xulosa

Ushbu maqola termodinamikaning asosiy prinsiplari, energiya almashinuvining fundamental qonunlari va jarayonlar yo‘nalishini belgilovchi entropiya tushunchasini atroflicha ko‘rib chiqdi. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, bu fan klassik nazariyalar bilan birga kvant termodinamikasi kabi ilg‘or yo‘nalishlar orqali uzluksiz takomillashib bormoqda. Termodinamika energiya samaradorligini oshirish, yangi materiallar yaratish va biologik tizimlarni tushunishda muhim ahamiyatga ega bo‘lib, uning keng qamrovli amaliy qo‘llanilishi va fanlararo integratsiyasi kelajakdagi texnologik innovatsiyalar uchun mustahkam zamin yaratadi. Shu bois, termodinamik bilimlarni chuqur o‘zlashtirish va ularni samarali o‘qitish ilmiy-texnik taraqqiyotning muhim shartidir.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1] Turns, Stephen R. Termodinamika: Tushunchalar va Ilovalar. 4-nashr. Cambridge: Cambridge University Press, 2023.

[2] Greiner, Walter, Ludwig Neise, and Horst Stöcker. Termodinamika va Statistik Mexanika: Integratsiyalashgan Yondashuv. 2-nashr. Cham: Springer, 2020.

[3] Gupta, M. C. Statistik Termodinamika: Muammolar va Yechimlar bilan Kirish Kursi. 4-nashr. London: Academic Press, 2020.

[4] Binder, F., et al. "Termodinamika kvant rejimida: So'nggi yutuqlar va joriy muammolar." Kvant Fani va Texnologiyasi, vol. 6, no. 3, 2021, p. 033001.

[5] Esposito, M. "Stoxastik termodinamika: Prinsiplardan ilovalargacha." Statistik fizika jurnali, jild. 178, 2020, bet. 1203-1218.

[6] Sagawa, T. "Axborotni qayta ishlash termodinamikasi: Maksvell jinidan kvant axborotiga." Nazariy va eksperimental fizika taraqqiyoti, vol. 2020, no. 1, 2020, p. 01A101.

[7] England, J. L. "O'z-o'zini takrorlash statistik fizikasi." Kimyoviy fizika jurnali, vol. 153, no. 13, 2020, p. 130901.