

Н.М. Мухтар¹, Ф.М. Пеньков¹

¹әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ТЕРМОДИНАМИКА САЛАСЫНДАҒЫ ЭЙНШТЕЙННІҢ ЖАСАҒАН ЖҰМЫСТАРЫ

Аңдатпа

Бұл мақалада біз Эйнштейннің термодинамика саласындағы еңбектерін қарастырамыз. Эйнштейн-физика саласында өз орны бар әйгілі ғалымдардың бірі. Ең маңызды жаңалықтардың бірі- салыстырмалылық теориясының ашылуы болатын. Алайда, Эйнштейн физиканың басқа салаларында да зерттеулер жүргізді. Олардың бірі-термодинамика. Бұл мақаланы жазудағы басты мақсат – Эйнштейннің термодинамика саласында жасаған жұмыстарына кішігірім сипаттама беру. Термодинамика саласында дәл сондай жұмыс жасаған ғалымдар мен Эйнштейннің еңбектерін салыстыра отырып, олардың арасындағы басты айырмашылықтарды немесе ұқсастықтарды байқауға да болады. Эйнштейн бұл салада біраз жаңа идеялардың негізін қалады.

Қазіргі таңда термодинамика саласы бойынша Эйнштейннің жасаған жұмыстарының қолданылу аймағы белгісіз. Термодинамика саласында жасаған теорияларын қате деп жатқан ғалымдар еңбектеріде бар. Алайда, Эйнштейннің броуандық қозғалыс туралы жасаған идеясының нанотехнология саласында біраз сұрақтардың жауабын көрсете білуі де, көптеген жаңа жұмыстардың бастапқы негізі болуы да жеткілікті.

Түйін сөздер: термодинамика, статикалық механика, температура, броуандық қозғалыс, флуктуация, кинетикалық теория.

Аннотация

Н.М. Мухтар¹, Ф.М. Пеньков¹

¹Казахский государственный университет имени аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан

РАБОТЫ ЭЙНШТЕЙНА В ТЕРМОДИНАМИКЕ

В этой статье мы рассматриваем труды Эйнштейна в области термодинамики. Эйнштейн-один из самых известных ученых, которые имеют свое место в области физики. Одним из самых важных новшеств стало открытие теории относительности. Однако Эйнштейн также провел исследования в других областях физики. Одна из них-термодинамика. Главная цель написания данной статьи-дать небольшую характеристику работе Эйнштейна в области термодинамики. Сравнивая работы ученых и Эйнштейна, которые проделали ту же работу в области термодинамики, можно заметить и основные различия или сходства между ней и ней. Эйнштейн заложил основы для некоторых новых идей в этой области.

В настоящее время область применения работ Эйнштейна в области термодинамики неизвестна. Есть работы ученых, которые ошибочно называют свои теории в области термодинамики. Однако достаточно того, что идея Эйнштейна о броуновском движении могла бы показать ответы на некоторые вопросы в области нанотехнологий и послужить исходной основой для многих новых работ.

Ключевые слова: термодинамика, статическая механика, температура, броуновское движение, флуктуации, кинетическая теория.

Abstract

EINSTEIN'S WORK IN THE FIELD OF THERMODYNAMICS

Mukhtar N.M.¹, Penkov F.M.¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

In this article, we review Einstein's work in the field of thermodynamics. Einstein is one of the most famous scientists who have their place in the field of physics. One of the most important innovations was the discovery of the theory of relativity. However, Einstein also conducted research in other areas of physics. One of them is thermodynamics. The main purpose of this article is to give a small description of Einstein's work in the field of thermodynamics. Comparing the work of scientists and Einstein, who did the same work in the field of thermodynamics, you can see the main differences or similarities between it and it. Einstein laid the groundwork for some new ideas in this area.

Currently, the scope of Einstein's work in the field of thermodynamics is unknown. There are works of scientists who mistakenly call their theories in the field of thermodynamics. However, it is enough that Einstein's idea of Brownian motion could provide answers to some questions in the field of nanotechnology and serve as the initial basis for many new works.

Keywords: thermodynamics, static mechanics, Brownian motion, fluctuations, kinetic theory.

Эйнштейн үшін термодинамика материяның дискретті бөліктерінің қозғалыс заңдылықтарын жанама қолдану мен растаудың кең саласы болып табылады. Эйнштейн өз еңбектерінде термодинамика ұғымдарын әмбебап деп санамаған, өйткені олар белгілі бір жеке физикалық модельмен байланысты емес. Термодинамика бір жерде қалған сала ретінде қарастырылмады.

Эйнштейн сонымен қатар термодинамика заңдарына тереңірек енуді қамтамасыз ететін құрал ретінде статистикалық механикаға көп қызығушылық танытады. Сол уақытқа дейін жасалған жұмыстардың ішінде ол статистикалық механика берген термодинамикалық заңдардың шегін нақты түсіндіре алды.

Эйнштейн жас кезінен ғылымға қызығушылық таныта бастады. Ең алғаш 1902 жылы термодинамикаға байланысты «Механикалық жылу теориясының екінші басталуын гипотетикалық жалпылау» атты мақала жазды. Сол мақалада термодинамика туралы өз ойын айтып, кемшіліктері туралы сөз қозғайды: «Газдар физикасы саласындағы жылудың кинетикалық теориясының жетістіктері қаншалықты үлкен болса да, теориясы ол әлі күнге дейін қанағаттанарлық механикалық негізге ие емес, өйткені жылу тепе-теңдігі заңдары мен термодинамиканың екінші бастамасы механика мен ықтималдық теориясының теңдеулерінен әлі алынған жоқ, дегенмен Максвелл мен Больцман өз теорияларында осы мақсатқа дерлік жетті. Бұл зерттеуде бұл олқылықты толтыру міндеті тұр. Сонымен қатар, термодинамиканы қолдану үшін үлкен маңызы бар екінші принципті жалпылау алынады. Энтропияның математикалық өрнегі механика тұрғысынан кездеседі» [1].

1905 жылы Эйнштейннің алғашқы ғылыми жұмысы жарық көрді. Ол "Молекулалық-кинетикалық жылу теориясын қажет ететін тыныш сұйықтықтағы бөлшектердің қозғалысы туралы" деп аталды. Мақала мына сөздермен басталды: "Бұл жұмыста молекулалық кинетикалық теорияға сәйкес, сұйықтықта өлшенген микроскопиялық өлшемдегі денелер микроскоппен оңай анықталатын мөлшерде қозғалыстар жасауы керек... егер, керісінше, бұл қозғалысты болжау орындалмаса, онда бұл жылу туралы молекулалық кинетикалық идеяға қарсы күшті дәлел болады"[2]. Осы мақалалар Эйнштейннің алдағы еңбектеріне жол ашты деуге болады, себебі флуктуация туралы теориясын 1905-1925 жылдар аралығында жиі қолданды.

Эйнштейн алғашқылардың бірі болып макроәлемдегі ауытқудың дәйекті сипаттамасына әкелетін шешуші қадамдарды жасады. Бастапқыда 1905 жылы ол броундық қозғалыс теориясын құрды, осы модельдің мысалында бақыланбайтын жылу әсерінің маңыздылығы мен түбегейлі өзгермейтіндігін көрсетті. Сонымен қатар, термодинамиканы қарастыру барысында броундық қозғалысты толық түсіндіріп, осы еңбегінің арқасында термодинамикаға жаңа серпін берді. Айзекен Уолтер «Эйнштейн. Оның өмірі және оның әлемі» атты еңбегінде былай деп жазады: Көрінбейтін бөлшектердің көрінетін әлемде қалай көрінетінін көрсету үшін, ол 1901 жылдан кейін әдеттегідей кездейсоқ өзара әрекеттесудің статистикалық талдауын қолданды. Осы техниканы қолдана отырып, Эйнштейн броундық қозғалыс деп аталатын құбылысты түсіндірді, ол сол кезде ғалымдарға сексен жылға жуық әсер етті. Шынында да, су сияқты сұйықтықтағы қоспалардың ұсақ бөлшектері әрдайым әр түрлі бағытта кездейсоқ секіретіні таңқаларлық. Бұл жұмыстың "жанама нәтижесі" ретінде физикалық нысандардағы атомдар мен молекулалардың шынымен бар екендігі біржолата дәлелденді. Эйнштейн бірінші болып сұйықтықтарды қолдана отырып, ақылға қонымды нәтижелерге қол жеткізді (диссертациясында бірнеше математикалық қателер түзетіліп, эксперименттік мәліметтерге түзетулер енгізілгеннен кейін) [3]. Альберт Эйнштейн 1905 жылы броундық қозғалысты сандық сипаттау үшін молекулярлық-кинетикалық теорияны жасады. Бұл теорияны жасау барысында оның алдында біраз кедергілер болды. Броундық қозғалыс туралы теорияны зерттеген ғалымдар да болды. Солардың бірі ретінде ағылшын ғалымы Роберт Броунды алуға болады. Броунның байқауы тез арада кең танымал болды. Ол өзі өзінің эксперименттерін көптеген әріптестеріне көрсетті. Бірақ ол «броундық қозғалыс» деп аталған бұл құпия құбылысты түсіндіре алмады. Бөлшектердің қозғалысы толығымен бейберекет болды : әр уақытта түсірілген позицияларының эскиздері бір қарағанда бұл қозғалыстардан қандай да бір заңдылықты табуға ешқандай мүмкіндік берген жоқ [4]. Бастапқы жұмысында жасаған еңбектері осы уақытқа дейін жасалған басқа да теориялардың дұрыстығын дәлелдеді. Ол жердегі бастапқы сұрақ: «не себепті молекулалар шектеледі?». Эйнштейннің ойынша бұл жердегі басты себеп молекулалардың таралуы энергияға байланысты болуында және әрбір молекуланың жылдамдығының әртүрлілігіне байланысты. Бұл жерде ол молекулалардың суда еріген қант сияқты бей берекет қозғалыста болатынын ескерді. Демек ол процессті броундық қозғалыс пен диффузия үшін қолданды.

Осы жасалған тәжірбие мен теория арасындағы байланысты анықтайды. Атап айтқанда, ол сфералық броундық бөлшектердің диффузия коэффициентінің формуласын шығарды [5]:

$$D = \frac{RT}{6N_A\pi r\xi} \quad (1)$$

мұндағы D -диффузия коэффициенті, R - әмбебап газ тұрақтысы, T -абсолютті температура, N_A – Авогадро тұрақты, r -бөлшектердің радиусы, ξ -динамикалық тұтқырлық. Бұл теңдеудің шығуына негіз болған қағидалар:

1. Вант-Гофф заңының қолданылуы;
2. Стокс теңдеуінің дұрыстығы;
3. x бағытындағы диффузия құбылысы мыны теңдеумен есептелінеді:

$$\frac{D\partial^2 n}{\partial x^2} = \frac{\partial n}{\partial t} \quad (2)$$

мұндағы $n(x, t)$ – t уақытындағы x координатына жақын көлемдегі бөлшектер саны.

Осы формуланы қолдана отырып, орташа қозғалысты диффузия жылдамдығының сандық өрнегімен байланыстыруға болады. Бұл ой газдар теориясына тікелей байланысты. Эйнштейннің бұл теориядан бөлек Авогадро саны туралы теорияның да негізін қалады. Алайда, оғай дейін де бұл сан туралы еңбектер жасалған болатын. Осы жасалған еңбектер мен Эйнштейн жасаған жұмыстардың арасындағы айырмашылық газ бен ертінді болатын. Яғни, Эйнштейн ертіндінің қасиетін негізге алған болатын.

Енді Эйнштейннің броундық қозғалысты қайта қарауына мынадай болжамдар негіз болды: еріткішке керектің барлығы жүзіндіге де керек. Ол үшін мына үш шартты қанағаттандыру керек:

1. Вант-Гофф заңы тек қана әлсіз ертінді үшін ғана емес, сонымен қатар әлсіз жүзінді үшін де орындалуы қажет.

2. Стокс заңының дұрыстығы, яғни сұйықтық біртұтас орта ретінде қарастырылуы қажет.

3. Броундық қозғалыс (2) теңдеумен сипатталатын диффузиялық құбылыс болуы қажет.

Эйнштейн заңы бойынша шығарған кезде бөлшектің кез-келген бағытта ығысуы тең болады және үйкеліс күштерінің әсерімен салыстырғанда броундық бөлшектің инерциясын елемуге болады (бұл жеткілікті ұзақ уақытқа рұқсат етіледі) деп есептеуге болады.

Эйнштейннің термодинамикалық зерттеулері, атап айтқанда броундық қозғалыс теориясы тәуелсіз қызығушылыққа ие. Эйнштейн броундық қозғалысты жылудың кинетикалық теориясын негізге ала отырып, кездейсоқ қозғалатын және соқтығысатын молекулалардың суретінен түсіндірді. Ол денеге қоршаған сұйықтық молекулаларын тигізетін кездейсоқ соққылардағы еріксіз тербелістерді ескерді. Эйнштейн өзінің броундық қозғалыс теориясында осы динамикалық, статистикалық емес ("застатистикалық" немесе "субстратистік" деп айтуға болады – олар термодинамиканың статистикалық заңдылықтарының артында тұр) заңдылықтарды ескеруге назар аударды. Эйнштейн статистика тұжырымдамаларын қолдана отырып, жеке молекулалардың қозғалысының "тоқырау" динамикалық заңдылықтарының болуын статистика арқылы көрсетті деп айту дұрыс болар еді.

Эйнштейннің замандастары броундық қозғалысты жылу мен сұйықтықтар мен газдардың молекулалық-кинетикалық теориясы тұрғысынан түсіндіре алмады және тырыспады. Эйнштейн, S броундық бөлшектің бір ығысуына арналған формуланың тұжырымы математикалық алаяқтықтан басталады, атап айтқанда – "квадраттағы нөл нөлге тең емес". Математиктерде "квадраттағы нөл" - бұл бұрын-соңды болмаған ерекше нөл; сондықтан бұл шамамен сипатталатын нәрсе шынымен бар, бірақ шексіз аз. Сондықтан, барлық жағынан тең соққылармен оның бейберекет қозғалысы кезінде t -уақытында бөлшектің орташа ығысуын білдіретін S логикалық нөлге тең (бөлшек тек орнында "дірілдейді"), ал s квадраты нөлге тең емес... және бөлшек оған сәйкес өзгеруі керек.бақыланатын мәліметтер. Енді S формуласының нумераторында осы ығысуға ықпал ететін барлық нәрсені квадратқа қоюға болады (Эйнштейнде тек орта температурасы бар), ал формула деноминаторында бұл ығысуға кедергі келтіретін барлық нәрсе бар (бұл ортаның тұтқырлығы, бөлшектердің массасы және Авогадро саны). Егер осы формула бойынша алынған нәтиже бөлшектің нақты ығысуынан мүлдем өзгеше болса, онда оны әрдайым бөлуге немесе көбейтуге болады, айталық, он алтыға...

Кішкентай бонус ретінде Эйнштейн өз мақаласында Авогадро санын есептеудің балама әдісін ұсынды. Абрахам Пайс бұл мақала туралы былай деді: "Ол идеяларға толы, ал Авогадроның санын әдеттегі микроскоптың көмегімен бақылаулардан анықтауға болады деген қорытынды тұжырым тіпті егер сіз бұрын мақаланы оқып, ойлау барысымен таныс болсаңыз да әрдайым таң қалдырады," [6].

Эйнштейннің ақыл-ойының күші бір уақытта бірнеше түрлі идеялар туралы ойлана алатындай болды. Тіпті ол ой жүгірту үстінен пляшущими бөлшектермен сұйықтықтың, ол бір мезгілде мен шайқастым үстінен, әр түрлі теориями, қозғалысымен тел жылдамдығы света. Броундық қозғалыс туралы мақаласын журналға жібергеннен кейін бірнеше күн өткен соң, ол досы Мишель Бессомен пікірталаста жаңа ми шабуылын жасады. Ол сол айда Гиббске өзінің әйгілі хатында жазғандай, "кеңістік пен уақыттың өзгертілген теориясы" пайда болады.

Ол жылу тепе-теңдігінде макропараметрлердің ауытқулары теориясының негізін 1907-1911 жылдары қалады. Онда кез-келген типтегі макропараметрлердің ауытқуына жол беріледі (және экстенсивті Е типі және қарқынды Т түрі). Мұндай ауытқулар әрдайым бір уақытта жүреді және бір-бірімен байланысты болады деп есептеді. Егер термодинамиканың екінші бастамасының статистикалық түсіндірмесі шынымен заңды болса ол жерде флуктуация құбылысын қолдануға болатынын туралы алғашқы болып айтты және ол алғаш рет молекулалық әлемді зерттеудің ерекше қуатты әдісі ретінде флуктуациялық тәсілді қолданған болатын.

Флуктуация дегеніміз- физикалық шаманың орташа мәннен кездейсоқ ауытқуы. Термодинамикалық тепе-теңдік күйіне жақындаған кезде N бөлшектерінен жүйенің термодинамикалық ықтималдығы артады. Тепе-теңдік күйіне жеткенде жүйенің термодинамикалық ықтималдығы максимумға жетеді. Термодинамикалық тепе-теңдік күйіндегі жүйенің макроскопиялық параметрлері (газ қысымы, оның жүйенің әртүрлі бөліктеріндегі тығыздығы және т.б.) өзгеруді тоқтатады және тұрақты болып қалады. Алайда, молекулалардың бейберекет қозғалысына байланысты физикалық параметрлердің орташа мәндерден шамалы ауытқулары пайда болады. Термодинамикалық флуктуацияны екі балама тәсіл негізінде табуға болады: статикалық механика немесе Гиббс және статикалық термодинамика немесе Эйнштейн. Эйнштейн мен Гиббс зерттеулерінің басты айырмашылығы Эйнштейннің түсінігі бойынша макро жүйе мен термостаттың қарқындылығының термодинамикалық параметрлерлерге нақты сай келуі қажет емес деп есептеуінде [7]. Эйнштейннің көзқарасы бойынша бұл параметрлер макро жүйеде ауытқиды, бірақ термостат жоқ, сондықтан олардың сәйкестігі тек орташа есеппен жеткілікті болады. Гиббс және Эйнштейн тәсілдерінің арасындағы айырмашылық әдістерге байланысты болды, яғни Гиббс зерттеуінде динамикалық әдісті қолданса, Эйнштейн зерттеулерінде термодинамикалық әдісті дұрыс деп санады. Қарқынды макро параметрлерге, соның ішінді температураға келетін болсақ, Гиббс таралуы негізінде макро объектілерді сипаттау кезінде олар термостатқа қатысты бекітілген сипаттамалар болып саналады. Термостаттағы бөлшектердің саны шексіз деп есептелетіндіктен, оның барлық сипаттамаларының салыстырмалы дисперсиялары нөлге тең, яғни, бұл сипаттамалардың өздері ауытқымайды.

Сонымен қатар, микробөлшектердің соңғы санымен жылу тепе-теңдігіндегі кез-келген нақты макро дене үшін N оның температурасы да өзгереді:

$$T=T_0 \pm \Delta T (3),$$

мұндағы T-макро объектінің температурасы, онда $T_0 = \text{const}$ -термостаттың температурасы, ΔT -макро объектінің температурасының дисперсиясы. Бұл Эйнштейннің пікірінше, жылу тепе-теңдігі ұғымы неғұрлым жалпы, динамикалық және макро объект пен термостат температурасының теңдігі тек орта есеппен жүреді.

Табиғаттың тұтастығы идеясына сүйене отырып, классикалық емес ойлау стратегиясында макро объектінің сипаттамалары мен оның макростатының тривиалды емес ауытқулары қандай да бір түрде бір-бірімен байланысты болуы керек деп болжау табиғи тұрғыда дұрыс болар еді. Микромирадағыдай, бұл жағдай макромирада бақыланбайтын, қазір жылу әсерінің болуын көрсетеді. Тиісінше, Эйнштейннің ауытқу теориясынан мұндай сипаттамалардың ауытқуы шығады. Макро объектісінің энергиясы E және оның жылу тепе-теңдігіндегі температурасы, біріншіден, нөлден бір уақытта ерекшеленеді, екіншіден, өзара байланысты болады.

Тағы бір айта кететін жайт ол Эйнштейннің динамикалық ауытқуға қатысты проблемасы - оның қысым дисперсиясына деген көзқарасы себеп болды .

Енді динамикалық әдіске байланысты ауытқулардың көріністеріне тоқталсақ:

1. Броундық қозғалыс-қоршаған орта молекулаларының әсерінен болатын сұйықтықта немесе газда тоқтатылған ұсақ бөлшектердің ретсіз қозғалысы. Броундық қозғалыстың себептері орта молекулаларының жылу қозғалысы және оның айналасындағы молекулалардан бөлшектің әсерінен

болатын соққылардың нақты компенсациясының болмауы, яғни броундық қозғалыс қысымның ауытқуына байланысты болуы.

2. Эйнштейн заңы броундық бөлшектің кез-келген координат осіне (басқа сыртқы күштер болмаған кезде) ығысу проекциясының орташа квадраты уақыт бойынша пропорционал болуы.

3. Статистикалық термодинамика үшін арнайы салыстырмалылықтың әсері нақты даму қажеттілігімен байланысты бөлшектер релятивистік жылдамдықпен қозғалатын газдар теориясы және теорияларды релятивистік жолмен тұжырымдаудың ресми талаптары. Эйнштейннің нақты статистикалық механикалық үлестерінің ішінде бізде броундық қозғалыс теориясынан басқа (1905) оның қатты жылу теориясы (1907), яғни бұл теорияда ол төмен температурада қатты заттардың жылу сыйымдылығының төмендеуін түсіндіреді.

Жалы термодинамика, статикалық физика, газдың кинетикалық теория туралы сұрақтар Эйнштейнді қызықтырған салалардың бірі болды. Ол 1900 жылдан басталған жұмыстарымен қоса 40 шақты мақаланы осы бөлімдерге арнаған. Бастапқы мақаларында теориялық тұрғыда Авогадро тұрақтысын есептеудің үш методикалық әдістерін көрсеткен. Бірақ Эйнштейннің статистикалық заңдылықтар туралы ойға көзқарасы әлемнің бастапқы заңдылықтары ретінде өте күрделі болды.

Бұл термодинамикалық зерттеулер Эйнштейннің "кванттық теория" еңбегінде шарықтау шегіне жетті [8], 1914 жылдың шілдесінде неміс физикалық қоғамына есеп берді. Оның әдісінің негізгі идеясы келесідей болды: Эйнштейн газды қарастырды, оның барлық молекулаларында тербелмелі режимдер бар, мысалы, молекулалардың ішкі күйлері Планк осцилляторының күйлерімен сәйкес келеді, олар үшін тек nh энергиясы мүмкін, n -бүтін сан. Содан кейін ол осы газдың мінез-құлқын талдап, оның химиялық компоненттердің қоспаларын атады, олардың әрқайсысы белгілі бір тербелмелі күйде молекулалар түзеді. Бұл мұндай компоненттерді жартылай өткізгіш мембраналар арқылы бөлуге болады деген болжамға тең болды. Бұл қоспаның орташа ішкі энергиясын тепе-теңдік күйінде термодинамикалық есептеу осциллятордың орташа энергиясы үшін Планк өрнегіне тікелей әкелді [9].

Енді бізге берілген сұрақ: Эйнштейн термодинамикасы деген ұғым бар ма және ол қолданыста ма? Зерттеу барысында Эйнштейн термодинамикасы деген ұғымның кездеспейтіні белгілі болды. Физика саласында нақты Эйнштейннің термодинамикасы деген ұғым немесе бөлім жоқ. Статистикалық физиканы қарастырғанда кездесуі мүмкін. Эйнштейн кей теорияның дұрыстығын көрсетті немесе басқа жаңа идеяларды қайталады. Бірақ бұл Эйнштейн термодинамика саласында жаңалық енгізбеді деген сөз емес. Мысалы ретінде оның кей теорияларының дұрыстығы соңғы жылдары ғана тәжірбие жүзінде анықталып отыр. Эйнштейн броундық қозғалыс теориясын жасаған кезде, ол қыздырылған бөлшектердің айналасындағы еріткішке қалай әсер ететінін ескерместен, броундық бөлшектің температурасы еріткіштің температурасына тең болды деп есептеген болатын. Қазіргі кезде нанотехнология саласында Эйнштейннің ғылыми ойлары негізі алыну керек.

Осыларды негізге ала отырып, Эйнштейннің термодинамика туралы идеяларының қолданыста бар екенін аңғаруға болады. Ол кей теорияларды алдыңғы жасалған теорияларға сілтеме жасай отырып қайта қарастырып көрді. Бұл жерде мысалы ретінде Больцман теңдеуін немесе броундық қозғалыс теңдеуін алуға болады. Дәл солай, ол кей теорияларды дербес жасап, қарастырды.

Пайдаланған әдебиеттер тізімі:

- 1 Эйнштейн А. // «Кинетическая теория теплового равновесия и второго начала термодинамики», *Ann.Phys.*, 1902, 9, 417-433 бет (Ср.статья 28.-Ред.)
- 2 Буховцев Б.Б., Климонтович Ю.Л., Мякишев Г. Я. //Физика. Учебник для 9 класса средней школы. – 3 изд., переработанное. – М.: Просвещение, 1986. – 13 бет.
- 3 Einstein, Albert //Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen (нем.) //Annalen der Physik : magazin. – 1905. – Mai (Bd. 322, Nr. 8). – S. 549 – 560. – doi:10.1002/andp.19053220806.
- 4 Васюрин К.С., Кузнецов А.А. // «Исследование броуновского движения», XIX научно-практическая конференция «Старт в инновации», Москва, 2020. 5 бет.
- 5 Белонучкин В.Е., Заикин Д.А., Ципенюк Ю.М., //Основы физики. курс общей физики Т. II Квантовая и статистическая физика, термодинамика//. Физматлит, 2001, 2007., 188-212 бет.
- 6 Пайс А. «Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна», Москва, 1989. 59-65 бет, ISBN 5-02-014028-7.
- 7 Сивухин Д.В. // «Общий курс физики. – Т. II. Термодинамика и молекулярная физика», Москва, 1990, 209-214 бет.

- 8 Эйнштейн А. // «Собрание научных трудов-Т.III», Москва, 1966. 328-332 бет.
- 9 Klein M. J. // «Thermodynamics in Einstein's thought», Science. 1967. V. 157 p.

References

- 1 Jejsnshtejn A. (1902) Kineticheskaia teorija teplovogo ravnovesija i vtorogo nachala termodinamiki [Kinetic theory of thermal equilibrium and the second principle of thermodynamics], Ann.Physics., 9, 417-433. (In Russian)
- 2 Buhovcev B.B., Klimontovich Ju.L., Mjakishev G. Ja. (1986).Fizika. Uchebnik dlja 9 klassa srednej shkoly [Physics. Textbook for the 9th grade of high school].3 izd., pererabotannoe.M.: Prosveshhenie, 13. (In Russian)
- 3 Einstein, Albert (1905) Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen (nem.).Annalen der Physik : magazin. Mai (Bd. 322, Nr. 8), 549 – 560. doi:10.1002/andp.19053220806. (In English)
- 4 Vasjurin K.S., Kuznecov A.A. (2020) Issledovanie brounovskogo dvizhenija [Research of Brownian motion], XIX nauchno-prakticheskaja konferencija «Start v innovacii», Moskva, 2020, 5. (In Russian)
- 5 Belonuchkin V.E., Zaikin D.A., Cipeňjuk Ju.M., (2007). Osnovy fiziki [Fundamentals of Physics].Kurs obshhej fiziki T. II Kvantovaja i statisticheskaja fizika, termodinamika. Fizmatlit, 188-212. (In Russian)
- 6 Pajs A. (1989) Nauchnaja dejatel'nost' i zhizn' Al'berta Jejsnshtejna [Scientific activity and life of Albert Einstein], Moskva, 1989. 59-65, ISBN 5-02-014028-7. (In Russian)
- 7 Sivuhin D.V. (1990) Obshhij kurs fiziki [General course of Physics]. T. II. Termodinamika i molekuljarnaja fizika», Moskva, 1990, 209-214. (In Russian)
- 8 Jejsnshtejn A. (1966) Sobranie nauchnyh trudov-T.III [Collection of scientific works], Moskva, 328-332. (In Russian)
- 9 Klein M. J. (1967) Thermodynamics in Einstein's thought, Science, 157. (In English)