

*Бұл ғылыми жұмысымыз «Ғылым айы–2026»  
аясындағы ғылыми декадада орындалды*

ӘОЖ 530.145:536.33

## **ПЛАНКТЫҢ ЖЫЛУЛЫҚ СӘУЛЕЛЕНУ ТЕОРИЯСЫ: КЛАССИКАЛЫҚ ЖӘНЕ КВАНТТЫҚ КӨЗҚАРАС**

*Сағындыкова А.Қ., Бахтиярова А.Н.*

3–курс студенттері, 6В05302 – «Физика» БББ,

Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

**Ғылыми жетекші:** физика– математика ғылымдарының кандидаты,  
доцент Т.Б. Қоштыбаев

*Мақала тыныштықтағы ортада жылудың таралу механизмдері — жылу өткізгіштік пен сәулелену жан-жақты қарастырылады. Жылу өткізгіштік кезінде энергия бөліктердің өзара әсерлесуі арқылы берілсе, сәулелену электромагниттік толқындар арқылы жүзеге асатыны көрсетіледі. Сонымен қатар сәуленің таралу заңдылықтары, атап айтқанда шағылу, жұтылу және сыну құбылыстары сипатталып, олардың физикалық мағынасы түсіндіріледі. Қара дене ұғымы мен оның қасиеттері талданып, сәуле шығару қарқындылығының температураға тәуелділігі қарастырылады. Жұмыстың маңызды бөлігі неміс ғалымы Макс Планк еңбектеріне арналған. Оның энергияның квантталуы туралы гипотезасы және жылулық сәулелену заңын түсіндірудегі рөлі көрсетіледі. Сонымен бірге классикалық физикадағы «ультракүлгін апат» мәселесі мен оның шешімі баяндалады. Зерттеу нәтижелері кванттық теорияның пайда болу себептерін және оның физика ғылымындағы маңызын ашуға бағытталған.*

**Кілт сөздер:** Жылу өткізгіштік, сәулелену, қара дене, кванттық теория, энергия квантталуы, Макс Планк.

**Кіріспе.** Жылулық құбылыстар табиғаттағы ең кең таралған әрі маңызды процестердің бірі болып табылады. Күнделікті өмірде біз жылудың берілуін, таралуын және бір күйден екінші күйге ауысуын үнемі байқаймыз. Бұл құбылыстар тек тұрмыстық деңгейде ғана емес, сонымен қатар физика ғылымының терең теориялық негізін құрайды. Әсіресе тыныштықтағы ортада жылудың таралу заңдылықтарын зерттеу — термодинамика мен молекулалық физиканың маңызды бағыттарының бірі. Жылу алмасу процестері арқылы табиғаттағы көптеген құбылыстар түсіндіріледі, соның ішінде денелердің қызуы мен салқындауы, атмосферадағы өзгерістер, сондай-ақ техникалық құрылғылардың жұмыс істеу принциптері.

Жылудың таралуы негізінен бірнеше тәсіл арқылы жүзеге асады, олардың ішінде ең маңыздылары — жылу өткізгіштік және сәулелену. Бұл екі механизм табиғаты жағынан әртүрлі болғанымен, бір ортақ мақсатты атқарады: энергияны бір аймақтан екінші аймаққа жеткізу. Жылу өткізгіштік кезінде энергия бөлшектердің тікелей өзара әрекеттесуі арқылы берілсе, сәулелену барысында энергия электромагниттік толқындар түрінде таралады. Осы ерекшеліктеріне байланысты бұл құбылыстар әртүрлі физикалық заңдармен сипатталады және оларды түсіну үшін терең теориялық білім қажет.

Классикалық физика ұзақ уақыт бойы жылулық сәулелену құбылыстарын түсіндіруде негізгі рөл атқарды. Алайда тәжірибелік зерттеулердің дамуы бұл теорияның шектеулі екенін көрсетті. Әсіресе қара дененің сәулелену спектрін түсіндіру барысында классикалық көзқарас бірқатар қайшылықтарға тап болды. Бұл қайшылықтардың ең белгілісі — «ультракүлгін апат» деп аталатын құбылыс, онда теория бойынша қысқа толқындар аймағында энергия шексіз артуы тиіс еді, бірақ тәжірибе мұны растамады. Осы мәселе физикада жаңа көзқарастың қажеттілігін айқындады.

XX ғасырдың басында неміс ғалымы Макс Планк осы қиындықты шешуге маңызды үлес қосты. Ол жылулық сәулеленуді түсіндіру үшін мүлде жаңа идея — энергияның квантталуы туралы гипотезаны ұсынды. Бұл гипотеза бойынша энергия үздіксіз емес, белгілі бір дискретті үлестермен ғана жұтылып және шығарылады. Планктың бұл жаңалығы классикалық физиканың шеңберінен шығып, жаңа ғылыми бағыт — кванттық теорияның негізін қалады. Оның жұмысы тек жылулық сәулеленуді түсіндірумен шектелмей, бүкіл физиканың даму бағытын өзгертті.

Планктың зерттеулері термодинамика, статистикалық физика және электродинамика арасындағы байланысты нығайтты. Ол энтропия, энергия және ықтималдық ұғымдарын біріктіре отырып, микродүние мен макродүние арасындағы байланысты түсіндіруге мүмкіндік берді. Бұл тәсіл кейін көптеген ғалымдардың еңбектерінде жалғасын тауып, қазіргі заманғы физиканың негізіне айналды.

Осы жұмыстың негізгі мақсаты — жылу өткізгіштік пен сәулелену құбылыстарын қарастыра отырып, олардың физикалық табиғатын түсіндіру және қара дене сәулеленуінің заңдылықтарын талдау. Сонымен қатар Макс Планк ұсынған кванттық гипотезаның маңызын ашып көрсету және оның классикалық физикадан кванттық физикаға өтудегі рөлін айқындау болып табылады.

**Негізгі бөлім.** Тыныштықтағы ортада жылу екі негізгі тәсілмен таралады: жылу өткізгіштік және сәулелену. Жылу өткізгіштік - температурасы жоғары аймақтан төмен аймаққа энергияның бөлшектер арқылы берілу процесі. Бұл процесс нәтижесінде дене ішінде температура біртіндеп теңеседі. Жылу өткізгіштік энергияның бөлшектер арасындағы тікелей соқтығысуы және өзара әсерлесуі арқылы жүзеге асады және температураның кеңістікте біркелкі таралмауынан туындайды. Бұл құбылыс Фурье заңымен сипатталады:

$$q = -k \frac{dT}{dx}$$

мұндағы:

$q$  - жылу ағыны,  $k$  - жылу өткізгіштік коэффициенті,  $\frac{dT}{dx}$  - температура градиенті.

Сәулелену классикалық физика тұрғысынан үдей қозғалатын электр зарядтарының электромагниттік толқындар шығаруы ретінде қарастырылады. Бұл құбылыс энергияның кеңістікте толқын түрінде таралуын сипаттайды және орта арқылы да, вакуум арқылы да жүзеге аса алады. Сәулелену қарқындылығы орта температурасына және дененің қасиеттеріне байланысты болады.

Сәулеленудің таралуына шағылу, сыну және жұтылу заңдары қолданылады. Сәуле бір ортадан екінші ортаға өткенде оның бір бөлігі шағылады, бір бөлігі сынады, ал бір бөлігі жұтылады. Бұл құбылыстар оптикалық заңдарға бағынады және сәуленің таралу бағыты мен энергиясының өзгеруін анықтайды. Шағылу заңы:

$$\theta_i = \theta_r$$

Жұтылу кезінде сәуленің энергиясы біртіндеп азаяды, ал ол энергия дененің ішкі энергиясына айналады. Жұтылу мөлшері орта қасиеттеріне, сәуле жиілігіне және жол ұзындығына тәуелді болады. Бұл процесс Бугер–Ламберт заңымен сипатталады:

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

мұндағы:

$I_0$  - бастапқы интенсивтік,  $I$  - өткеннен кейінгі интенсивтік,  $\alpha$  - жұтылу коэффициенті,  $x$  - жол ұзындығы.

Сәулелену біртекті және изотропты ортада барлық бағытта таралады. Орта ішіндегі сәуле таралуы шашырау құбылысымен де сипатталады, ол сәуле бағытының өзгеруіне және қарқындылығының азаюына әкеледі. Қара дене деп өзіне түскен барлық сәулені толық жұтатын идеал дене аталады. Мұндай дене сәулені шағылдырмайды және толық сіңіреді. Қара дененің негізгі қасиеттеріне толық жұту қабілеті, жеткілікті қалыңдық және шашыраудың аз болуы жатады. Оның жұту қабілеті:

$$A = 1$$

Табиғатта абсолют қара дене жоқ, бірақ күйе және платина қарасы оған жуық келеді. Оның қарапайым моделі ретінде кішкене тесігі бар тұйық ыдыс қарастырылады.

Температура артқан сайын денелердің сәуле шығару қарқындылығы артады және жылу жоғалту процесі күшейеді. Бұл тәуелділік Стефан–Больцман заңымен беріледі:

$$E = \sigma T^4$$

мұндағы:

$E$  - сәуле шығару қуаты,  $T$  - абсолют температура,  $\sigma$  - тұрақты шама. [1, 13 б.].

1900 жылы 19 қазанда Планк Неміс физикалық қоғамының отырысында баяндама жасады, ол сол жылы «Виннің сәулелену заңын біршама жақсарту туралы» деген атаумен жарияланды. Баяндаманың негізгі мақсаты — оның электромагниттік сәулелену теориясы мен Рубенс, Луммер мен Прингсгейм жүргізген жаңа эксперименттік нәтижелер арасындағы сәйкестікті түсіндіру болатын. Бұл тәжірибелер спектрдегі энергияның таралуы жөніндегі Вин ұсынған заң тек қысқа толқындар мен төмен температуралар аймағында ғана дұрыс екенін көрсетті.

Электромагниттік теория бойынша, сәулелену энергиясының таралу заңы сәулеленумен әрекеттесетін сызықтық резонатордың энтропиясының оның энергиясына тәуелділігі арқылы анықталады. Осыған байланысты Планк негізгі назарды энтропия ұғымына аударды, себебі дәл осы шама арқылы жүйенің термодинамикалық күйін толық сипаттауға болады.

Планк «сәулелі энергияның энтропиясы мен температурасы» атты еңбегінде энтропияның энергияға тәуелділігін нақты анықтау қажеттігін көрсетті. Ол бұрынғы классикалық тәсілдердің жеткіліксіз екенін түсініп, жаңа математикалық байланыстар іздеуге кірісті.

Вин заңының өрнегі белгілі түрде берілді:

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{const}{U}$$

Алайда бұл заң тәжірибенің барлық диапазонын толық қамтымады. Сондықтан Планк энергияның таралуын сипаттайтын жаңа функция қажет екенін дәлелдеді.

Жоғары температура жағдайында сәулелену қарқындылығы температураға тура пропорционал болады:

$$U = CT$$

Осыдан энтропия үшін логарифмдік тәуелділік шығады:

$$S = C \ln U [2, 249 б]$$

Бұл қатынас үлкен энергия мәндерінде дұрыс болғанымен, кіші энергиялар үшін ауытқулар байқалды. Демек, табиғатта бір ғана заң емес, бірнеше шекті жағдайды біріктіретін жалпы заң болуы тиіс еді.

Планк екі шекті жағдайды (жоғары және төмен энергия) біріктіретін формуланы іздеді және нәтижесінде жаңа өрнек ұсынды:

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{1}{avU + \frac{U^2}{c}}$$

Бұл формула алғаш рет спектрлік энергияның тәжірибелік мәндермен толық сәйкестігін көрсетті. Сонымен қатар ол сәулелену қарқындылығын толқын ұзындығы арқылы да өрнектеді:

$$E = \frac{c\lambda^{-5}}{e^{\frac{c}{\lambda T}} - 1}$$

1900 жылы 14 желтоқсанда Планк қайтадан баяндама жасап, «Қалыпты спектрдің сәулелену энергиясының таралу теориясы туралы» еңбегін ұсынды. Онда ол жаңа формуланың эксперименттік мәліметтермен өте жақсы сәйкес келетінін ерекше атап өтті. Планктың ең маңызды идеясы — энергия үздіксіз емес, белгілі бір дискретті үлестермен ғана жұтылып және шығарылатыны туралы гипотеза болды:

$$\varepsilon = h\nu$$

Мұндағы:

$h$  — Планк тұрақтысы,  $\nu$  — сәуле жиілігі.

Бұл тұжырым физикадағы классикалық көзқарасты түбегейлі өзгертті, себебі энергияның квантталуы табиғаттағы жаңа заңдылықты көрсетті. Кейін Планк Больцманның ықтималдық теориясына сүйене отырып, энтропияны микрокүйлер саны арқылы өрнектеді:

$$S = k \ln W$$

Мұндағы:

$k$  — Больцман тұрақтысы,  $W$  — мүмкін күйлер саны.

Осы тәсіл арқылы ол макроскопиялық шамаларды микродеңгейдегі бөлшектер қозғалысымен байланыстыра алды. Бұл статистикалық физиканың дамуына үлкен әсер етті.

1911 жылы Сольвей конгресінде Планк жылулық сәулелену заңдары туралы баяндама жасап, классикалық физика шеңбері барлық құбылыстарды толық түсіндіре алмайтынын атап өтті. Ол тәжірибелік нәтижелер мен теория арасындағы қайшылықты жаңа физикалық көзқарастар қажет екенін дәлел

ретінде келтірді. Классикалық теория бойынша қара дененің сәулелену энергиясының спектрлік тығыздығы:

$$u_{\lambda}d\lambda = cT\lambda^{-4}d\lambda$$

Бұл өрнек қысқа толқындарда шексіздікке ұмтылып, тәжірибемен сәйкес келмейтін «ультрақұлгін апат» мәселесін туғызды. Осы қайшылық кванттық теорияның пайда болуына тікелей себеп болды.

Осылайша Планктың жұмысы тек жаңа формуланы ұсынумен шектелмей, физикадағы жаңа дәуірдің — кванттық механиканың басталуына негіз қалады. Оның идеялары кейін Эйнштейн, Бор және басқа да ғалымдардың еңбектерінде әрі қарай дамытылды. [6, 260 б]

**Қорытынды.** Жылудың таралуы табиғатта жылу өткізгіштік пен сәулелену арқылы жүзеге асады. Жылу өткізгіштік температурасы жоғары аймақтан төмен аймаққа энергияның бөлшектердің өзара әсерлесуі нәтижесінде берілуімен сипатталады. Ал сәулелену энергияның электромагниттік толқындар түрінде таралуы болып табылады және ол вакуум арқылы да жүзеге аса алады. Сәулелену құбылысы шағылу, сыну, жұтылу және шашырау заңдылықтарына бағынады. Денелердің сәуле жұту қабілеті олардың физикалық қасиеттеріне тәуелді. Қара дене барлық түскен сәулені толық жұтып, температура артқан сайын энергияны көбірек шығарады. Дегенмен классикалық физика бұл процесті толық түсіндіре алмады және бірқатар қайшылықтар туындады. Бұл мәселені шешу үшін М. Планк энергияның үздіксіз емес, тек белгілі бір порциялармен шығарылатыны туралы кванттық гипотезаны ұсынды. Осы арқылы сәулелену құбылысын статистикалық тұрғыдан түсіндіруге мүмкіндік туды және энергияның табиғаты жөніндегі көзқарас түбегейлі өзгерді. Планктың еңбегі қара дененің сәулелену заңын дәл сипаттап, тәжірибелік нәтижелермен толық сәйкестік көрсетті. Оның идеясы классикалық физика мен кванттық физиканың арасындағы байланысты қамтамасыз етті. Осылайша Планктың кванттық гипотезасы физика ғылымында жаңа бағыттың қалыптасуына негіз болып, микродүниені түсіндіруде маңызды төңкеріс жасады және қазіргі кванттық механиканың дамуына жол ашты.

#### Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Планк М. Теория теплового излучения. – М.: Изд-во АН СССР, 1935. – с. 13–60.
2. Планк М. Избранные труды. – М.: Наука, 1975. – с. 249, 258, 262.
3. Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 3: Электр және оптика. – М.: Наука, 2010. – 45–78 б.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том 5: Статистическая физика. – М.: Физматлит, 2005. – 112–150 б.
5. Больцман Л. Лекции по теоретической физике. – М.: Мир, 1983. – 60–95 б.
6. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Том 1. – М.: Мир, 1977. – 210–260 б.

7. Григорьев В.И. Курс общей физики: молекулярная физика и термодинамика. – М.: Высшая школа, 2012. – 88–130 б.
8. Tipler P., Llewellyn R. Modern Physics. – New York: W.H. Freeman, 2014. – 95–140 p.

## ТЕОРИЯ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАНКА: КЛАССИЧЕСКИЙ И КВАНТОВЫЙ ВЗГЛЯД

*Сағындыкова А.Қ., Бахтиярова А.Н.*

**Научный руководитель:** Т.Б. Қоштыбаев

*В статье всесторонне рассматриваются механизмы распространения тепла в неподвижной среде — теплопроводность и излучение. Показано, что при теплопроводности энергия передаётся посредством взаимодействия частиц, тогда как излучение осуществляется через электромагнитные волны. Кроме того, описаны закономерности распространения излучения, в частности явления отражения, поглощения и преломления, а также объясняется их физический смысл. Анализируются понятие абсолютно чёрного тела и его свойства, рассматривается зависимость интенсивности излучения от температуры. Важная часть работы посвящена трудам немецкого учёного Макса Планка. Рассматриваются его гипотеза о квантовании энергии и её роль в объяснении закона теплового излучения. Также изложена проблема «ультрафиолетовой катастрофы» в классической физике и пути её решения. Результаты исследования направлены на раскрытие причин возникновения квантовой теории и её значения в развитии физической науки.*

**Ключевые слова:** теплопроводность, излучение, чёрное тело, квантовая теория, квантование энергии, Макс Планк.

## PLANCK'S THEORY OF THERMAL RADIATION: CLASSICAL AND QUANTUM PERSPECTIVES

*Sagyndykova A.K., Bakhtiyarova A.N.*

**Scientific Supervisor:** T.B. Koshtybayev

*This article comprehensively examines the mechanisms of heat transfer in a stationary medium, namely thermal conduction and radiation. It is shown that in thermal conduction, energy is transferred through particle interactions, whereas radiation occurs through electromagnetic waves. In addition, the laws governing the propagation of radiation, including reflection, absorption, and refraction phenomena, are described, and their physical meanings are explained. The concept of a black body and its properties are analyzed, and the dependence of radiation intensity on temperature is considered. An important part of the work is devoted to the contributions of the German scientist Max Planck. His hypothesis of energy quantization and its role in explaining the law of thermal radiation are discussed. The issue of the “ultraviolet catastrophe” in classical physics and its resolution are also presented. The research findings aim to reveal the reasons for the emergence of quantum theory and its significance in the development of physical science.*

**Keywords:** thermal conduction, radiation, black body, quantum theory, energy quantization, Max Planck.

**REFERENCES**

1. Planck, M. Theory of Thermal Radiation. Moscow: USSR Academy of Sciences Publishing House, 1935. P. 13–60.
2. Planck, M. Selected Works. Moscow: Nauka, 1975. P. 249, 258, 262.
3. Savelyev, I.V. Course of General Physics. Volume 3: Electricity and Optics. Moscow: Nauka, 2010. P. 45–78.
4. Landau, L.D., & Lifshitz, E.M. Theoretical Physics. Volume 5: Statistical Physics. Moscow: Fizmatlit, 2005. P. 112–150.
5. Boltzmann, L. Lectures on Theoretical Physics. Moscow: Mir, 1983. P. 60–95.
6. Feynman, R., Leighton, R., & Sands, M. The Feynman Lectures on Physics. Volume 1. Moscow: Mir, 1977. P. 210–260.
7. Grigoriev, V.I. Course of General Physics: Molecular Physics and Thermodynamics. Moscow: Vysshaya Shkola, 2012. P. 88–130.
8. Tipler, P., & Llewellyn, R. Modern Physics. New York: W.H. Freeman, 2014. P. 95–140.