

ӘОЖ 539.12

ҚАРА ДЕНЕ СӘУЛЕЛЕНУІ ЖӘНЕ ПЛАНК ГИПОТЕЗАСЫНЫҢ ТАРИХИ РӨЛІ

Ахмет Таңшолпан Сейдаханқызы

4 - курс студенті, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, ФМЦТ институты, Алматы, Қазақстан

Калдымуратова Нурлыайым Сержановна

4 - курс студенті, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, ФМЦТ институты, Алматы, Қазақстан

Ғылыми жетекші: Жавлиева Ардақ Түгелқызы, педагогика ғылымдарының магистрі, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті физика кафедрасының оқытушысы

Бұл зерттеу жұмысында қара дене сәулеленуінің физикалық табиғаты, оның классикалық физика шеңберінде түсіндірілмеген мәселелері және Макс Планк ұсынған кванттық гипотезаның пайда болуы жан-жақты талданады. XIX ғасырдың соңында қара дене спектрін түсіндіру барысында туындаған «ультракүлгін апат» проблемасы физика ғылымында терең дағдарыс тудырып, жаңа теориялық тәсілдердің қажеттілігін көрсетті. Планктың энергияның үздіктілігі туралы гипотезасы осы дағдарысты шешіп қана қоймай, кванттық физиканың қалыптасуына жол ашты. Жұмыста Планк формуласының шығу тарихы, оның ғылыми ортада қабылдануы және қазіргі физика мен технологиялардағы маңызы қарастырылады. Зерттеу тарихилық, теориялық талдау және салыстырмалы ғылыми әдістер негізінде жүргізілді.

Кілт сөздер: Қара дене, сәулелену спектрі, ультракүлгін апат, Планк гипотезасы, квантталған энергия, Планк тұрақтысы, кванттық физика, фотоэффект

Қара дененің сәулелену тақырыбы физика тарихында ерекше орын алады, өйткені ол классикалық физиканың шектеулерін айқын көрсетті және кванттық теория сияқты жаңа физикалық көзқарастың дамуына әкелген іргелі факторлардың бірі болды. 19 ғасырдың аяғында жүргізілген спектроскопиялық зерттеулер қара дененің сәулелену қарқындылығының жиілікке тәуелділігін классикалық теориялармен толық түсіндіруге болмайтынын көрсетті. Рэйлей-Джинс формуласының табиғат заңдарына қайшы келетін жоғары жиілік диапазонында шексіз мәндер беруі «ультракүлгін апат» деп аталатын ғылыми

дағдарысқа әкелді. Бұл құбылыс физиканың іргелі теориялық негіздерін қайта қарауды қажет етті.

Бұл дағдарысты шешу үшін Макс Планк 1900 жылы өзінің революциялық гипотезасын ұсынды, бұл энергия ұсақ бөлшектер — кванттар арасында алмасады. Бастапқыда тек математикалық трюк деп саналғанымен, энергияны кванттау идеясы кейіннен бүкіл микроәлемді сипаттайтын жаңа теорияның негізі болды. Планк ұсынған энергетикалық элементтер мен тұрақтылар қазіргі физиканың көптеген салаларының негізін құрайды және фотон концепциясының, атомдық модельдердің және кванттық механиканың дамуына тікелей әсер етті.

Бұл зерттеудің маңыздылығы классикалық қара дененің сәулелену модельдері мен кванттық теорияның пайда болуына әкелген ғылыми алғышарттарды талдау арқылы физикадағы парадигмалардың ауысуының мәнін ашу болып табылады. Қара дененің спектрін дәл анықтау тек теориялық маңызды емес, сонымен қатар заманауи технологиялардағы, лазерлік жүйелердегі, астрономиялық бақылаулардағы, жартылай өткізгіш құрылғылардағы және жылу камераларының жұмысындағы жылу сәулелену модельдерінің негізін құрайды.

Қара дене ұғымы мен оған байланысты сәуле шығару физикасының классикалық теорияларына қойылған бастауыш сұрақ — қандай функциямен температураға тәуелді және толқын ұзындығына тәуелді шығарылатын энергия сипатталады — XIX ғасырдың ортасынан бастап халықаралық қызығушылықтың нысаны болды. Густав Кирхгофф 1859–1860 жылдардағы еңбектерінде «қара дене» терминін енгізіп, кез келген дененің белгілі бір жиілік үшін шығарғыштық пен жұтылушылық арасындағы қатынас универсалды функцияға тәуелді болуы керек деген маңызды теоретикалық қағиданы қойды; осы универсалды функцияны анықтау физика үшін алғашқы міндеттердің біріне айналды.

Эмпириялық деңгейді көтерген эксперименталды жұмыс XIX ғасырдың соңында белсенді жүргізілді: Виннің 1893 жылғы ығысу заңы спектрдің максимумының температураға тәуелділігін сипаттайтын маңызды термодинамикалық нәтижені көрсетті және қысқа толқынды шектегігі үшін формал түрде дұрыс болатын аппроксимация ұсынды. Алайда 1898–1900 жылдары Отто Луммер, Фердинанд Курльбаум, Э. Прингсхайм және Хайнрих Рубенс сияқты экспериментаторлар сәулеленудің кең жиілік ауқымына өлшеулер жүргізіп, Виннің формуласы мен қолданыстағы болжамдардың тек шектеулі доменге сәйкес келетінін анықтады: ұзын толқынды аймақтарда деректер Виннің жалпыламаларына сәйкес келмеді және қосымша түзетулерді талап етті. Осы тәжірибелік нәтижелер классикалық теория мен эксперимент арасындағы нақты қайшылықты айқын көрсетті.

Классикалық статистикалық механика мен электродинамика негізінде алынған Рэлей–Джинс типті жуықтамалар ұзын толқынды шектегіге дұрыс келетін, алайда «жоғары жиілік» шегінде энергияның шексіз артуын болжайтын, шынайылыққа жанаспайтын болжамды туғызды бұл жағдай кейіннен «ультрақұлгін апат» деп аталды. Бұл теоретикалық апат шын мәнінде классикалық теориялардың қара дене спектрін сипаттай алмауы кванттық ойлаудың енгізілуіне тікелей түрткі болды.

Осындай эксперименталдық және тұжырымдамалық қысым аясында Макс Планк 1900 жылы қара дене сәулеленуінің эмпирикалық аумағын дәл сипаттайтын жаңа формуласын ұсынды. Планктың негізгі идеясы — термодинамикалық тәсіл арқылы резонаторлардың энтропиясын энергия функциясы ретінде қарастыру және энтропияны алу үшін энергияларды дискретті «элементтерге» бөлу. Планктың алынған негізгі өрнегі жиілік бойынша энергия тығыздығын береді:

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B}} - 1},$$

ал спектральдық интенсивтіліктің жиілік бойынша нысаны әдетте былай жазылады:

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B}} - 1}$$

Бұл өрнек төмен жиілікте Рэлей–Джинс шегіне, ал жоғары жиілікте Вин апроксимациясына ұқсас түрде үлес қосып, барлық жиілік диапазонында эксперименттік деректерге сәйкес келетінін көрсетті. Планктың жұмысы алғаш рет 1900 жылдың соңында жарияланды және сол жылдың қыс мезетінде ғылыми қауымға ұсынылды; Планктың өзі бастапқыда энергия кванттары идеясын толық физикалық шындық ретінде түсінбеді деп атап өту маңызды, алайда оның формуласы кванттық теорияның орын алуына жол ашты.

Физикалық салалар үшін практикалық маңызы: Планк заңы интегралданған кезде (спектр бойынша $0-\infty$) жалпы шығатын қуаттың температура бойынша T^4 тәуелділігін береді — бұл Стэфан–Больцман заңының терең тұжырымдамалық негізін қамтамасыз етеді және сәулеленудің энергетикалық тығыздығын толық анықтайды. Сонымен қатар, спектрдің максимумының температураға тәуелділігі Виннің ығысу заңымен сәйкес келеді, бұл астрономияда жұлдыздардың эффективті температураларын бағалауда негізгі әдіс ретінде қолданылады.

Теориялық тұрғыдан қарағандағы мәні — Планк формуласы классикалық статистикада қарастырылмайтын жаңа константты және энергияның жиілікпен пропорционалды минимумдық «пакеттері» тұжырымын енгізді. Осы тұрақты кейінгі онжылдықтарда фотоэффекттің Эйнштейндік түсіндірмесіне, Бордың атомдық моделіне және кванттық механиканың толыққанды дамуына негізгі математикалық базаны берді. Планктың өзі 1918 жылы кванттық теорияға

қосқан елеулі үлесі үшін Нобель сыйлығымен марапатталды; ХХІ ғасырда Планк тұрақтысы метрологияда шешуші рөл атқарып, 2019 жылы SI жүйесінің қайта анықталуы барысында оның саны дәл мәнге бекітілді $h = 6.62607015 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ — және бұл килограммның анықтамасын тұрақтыға сүйене отырып қайта қарауға мүмкіндік берді.

Макс Планктың қара дене сәулеленуінің мәселесіне жасаған шешімі ХХ ғасыр физикасының қалыптасуындағы шешуші сәттердің бірі болды. 1900 жылы Планк қара дененің спектрлік тығыздығын сипаттайтын эмпирикалық өрнекті алу үшін дәстүрлі термодинамикалық тәсілдерді қолдана отырып, резонаторлардың энергиясының дискреттелуін енгізді. Ол резонатордың энергиясын элементар «энергия бөліктеріне» бөліп, осындай бөліктер санының комбинаторлық есептеуіне негізделген энтропия есебінен спектр формуласын шығарды — бұл қадам классикалық теорияда қолданылмаған жаңа постулат болды.

Планктың алынған негізгі өрнегі жиілік бойынша энергия тығыздығы мен спектральдық интенсивтіліктің келесі түрде берілуімен сипатталады:

$$\nu(\nu, T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B}} - 1}, \quad B_\nu(T) = \frac{2h \nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B}} - 1}$$

Бұл формула тәжірибемен барлық жиілік аймақтарында сәйкес келіп, төмен жиілікте Рэлей–Джинс шегіне, жоғары жиілікте Винның ықпалымен алынатын шекті формаларға өтеді; осылайша «ультракүлгін апаттың» классикалық парадоксын жояды.

Планк өз гипотезасын бастапқыда таза математикалық «трюк» ретінде қарастырды: энергия элементтерінің енгізілуі механизмдік кванттық постулаттан гөрі статистикалық есептеу үшін ыңғайлы еді. Дегенмен, кейінгі зерттеулер мен арнайы зерттеушілердің талдауы көрсеткендей, бұл формализм терең физикалық мағынаға ие болды — энергияның дискреттілігі идеясы микроәлемнің сипаттамасында түбегейлі рөл атқаруын көрсетті.

Планк гипотезасының пайда болуы тәжірибе мен теорияның өзара қарым-қатынасының нақты мысалы ретінде қарастырылуы тиіс: ХІХ ғ. соңындағы дәл спектрлік өлшеулер (Луммер, Рубенс, Курльбаум және т.б.) классикалық болжамдардың шектен шығатындығын көрсетті және теорияны түзету қажеттігін көрсетті; Планктың статистикалық тәсілі дәл осы түзетуді берді. Бұл тарихта маңызды аргумент — физикада жаңа постулаттарды енгізудің дұрыс жолы көбінесе феноменологиялық түрде жүзеге асып, кейіннен терең теориялық түсініктеме табатыны.

Планк гипотезасының ұстаған ғылыми салдары тез әрі кең болды. Біріншіден, ол фотон идеясының пайда болуына және Эйнштейннің 1905 жылы фотоэффектті түсіндіруінде квант ұғымын қолдануына жол ашты; екіншіден, Планк тұрақтысы кванттық механиканың негізгі тұрақтысына айналды және метрологияға дейін әсер еткенін атап өту керек — 2019 жылғы SI жүйесінің қайта анықталуында Планк тұрақтысының анықтамасы тұрақты мәнге бекітілді,

бұл оның практикалық маңызды рөлін тағы да дәлелдеді. Сонымен қатар, Планктың жұмысы Нобель сыйлығына әкелді: Планк 1918 жылы «энергия кванттарының ашылуы» үшін Физика саласы бойынша Нобель сыйлығымен марапатталды.

Тарихи-парадигмалық тұрғыдан қарағанда, Планк гипотезасы классикалық детерминистік сипаттамадан кванттық ықтималдық сипатқа ауысудың алғашқыларынан болды. Бұл өзгеріс математикалық формуладан гөрі философиялық-бейнелік өзгеріс те болды: энергияның үздіксіз емес, кванттық құрылымын мойындау физиканың негізгі ұғымдарын (энергия, өріс, бөлшек) қайта қарауға мәжбүрледі. Ғылыми қауымдастықтағы динамика — бастапқы күдік, кейіннен математикалық дәлдік пен эксперименттік растаманың арқасында кең тарау — ғылыми теориялардың қалай қалыптасатынын және қабылданатынын көрсететін педагогикалық маңызы бар оқиға ретінде есте қалды.

Планктың дискреттеу идеясының ең маңызды жағы — энергияның квантталуының математикалық енгізілуі ғана емес, ол микроәлемнің сипаттамасын өзгертетін жаңа физикалық константаның пайда болуы болды. (h)-тың пайдасы кейінгі жылдарда кванттық процестерді сандық сипаттауға мүмкіндік берді; мысалы фотоэффекттің Эйнштейндік түсіндірмесі энергияның фотондар арқылы тасымалданатынын тұжырымдайды:

$$E_{\text{кілт}} = h\nu - \Phi$$

мұндағы Φ — металдың шығару жұмысы. Бұл байланыс 1905 жылғы Эйнштейн еңбегі арқылы жарық кванттарының физикалық маңызын анықтап, Планктың формулалық табысын кеңірек физикалық интерпретацияға айналдырды.

Планктың жұмысы тек қана сәулелену мәселесін шешіп қана қойған жоқ, ол толық жаңа даму траекториясын — кванттық теорияның алғашқы кезеңін — ашты. 1913 жылы Нильс Бордың атом моделінде қызметтік түрде енгізілген кванттық шарт (бөлшектің айналу импульсінің квантталуы ($L = n\hbar$)) атомдық спектрлердің түсіндірілуін қамтамасыз етті:

$$mvr = n\frac{h}{2\pi} = n\hbar$$

Бор моделі Планк және Эйнштейн енгізген кванттық ұғымдарды атомдық деңгейге тасып, эксперименттік спектральдық табысты сәйкестік берді. Бұл қадам кванттық тұжырымдамалардың микроскопиялық жүйелерге енгізілуін жеделдетті.

Қара дене сәулеленуін зерттеу барысында XIX ғасырдың соңында классикалық физика алдында тұрған негізгі теориялық дағдарыстың

қаншалықты терең болғаны айқындалды. Рэлей–Джинс заңының ультракүлгін аймақта эксперименттік деректермен сәйкес келмеуі, сондай-ақ спектрдің жоғары жиіліктердегі энергия тығыздығының шексіздікке ұмтылуы классикалық теорияның ішкі шектеулігін көрсетті. Бұл қайшылық Макс Планктың 1900 жылы энергияның үздікті кванттар түрінде жұтылып, шығарылатынын болжауына негіз болды. Планк формуласы барлық жиілік диапазонында тәжірибемен толық үйлесімді болып, физика ғылымында жаңа дәуір — кванттық революцияның басталуына себепкер болды.

Планк гипотезасының тарихи рөлі тек бір физикалық құбылысты түсіндірумен шектелмейді. Ол микроәлемді сипаттауда жаңа логика енгізді: энергияның квантталуы, ықтималдық сипаттағы заңдылықтар, бөлшек-толқын дуализмі және атомдық деңгейдегі жүйелерді математикалық модельдеудің жаңа тәсілдері пайда болды. Бұл идеялар Эйнштейннің фотоэффектті түсіндіруінде, Бордың атом моделінде, кейінірек Гейзенберг, Шредингер және Дирак құрған кванттық механика теорияларында жалғасын тапты. XX ғасырдағы лазерлік технологиялар, жартылай өткізгіштер, ядролық магниттік резонанс, кванттық есептеу және заманауи метрология сияқты салалардың дамуы да Планк енгізген кванттық принциптердің тікелей нәтижесі болып табылады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Милантьев В. П. Сто лет постоянной Планка //Физическое образование в вузах. – 2002. – Т. 8. – №. 1. – С. 10-21.
2. Planck, M. «On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum», Annalen der Physik (1900/1901). URL: <https://strangepaths.com/files/planck1901.pdf>
3. Auyelbekova D. O., Amantayeva A. E., Khokhlov A. A. Тұтылмалы жұлдызды модельдеу 2MASS J02253615+ 2805508 //Engineering Journal of Satbayev University. – 2021. – Т. 143. – №. 2. – С. 92-97. URL: <https://vestnik.satbayev.university/index.php/journal/article/download/127/282>
4. Косов В. Н., Тлебаев К. Б., Хамраев Ш. И. Материалы секции «Физика» 78-ежегодной научной конференции студентов и. URL: <https://abaiuniversity.edu.kz/docs/docs/ 2023 111.pdf>
5. Лоренц Г. А. Макс Планк и теория квантов //Успехи физических наук. – 1926. – Т. 6. – №. 2. – С. 81-92. URL: https://scholar.archive.org/work/p63hkwcvjrbixp6f5ltzh3untu/access/wayback/http://ufn.ru/ufn26/ufn26_2/Russian/r262a.pdf
6. Дмитриев И. С. «Я не особо думал об этом»(М. Планк и квантовая революция) //Дискурс. – 2019. – Т. 5. – №. 5. – С. 5-19. URL: <https://discourse.elpub.ru/jour/article/download/278/284>

ИЗЛУЧЕНИЕ ЧЕРНОГО ТЕЛА И ИСТОРИЧЕСКАЯ РОЛЬ ГИПОТЕЗЫ ПЛАНКА

*Ахмет Танишолпан Сейдаханкызы
Калдымуратова Нурлыайым Сержановна*

Научный руководитель: Жавлиева Ардак Тугелкызы

В данном исследовании всесторонне анализируются физическая природа излучения абсолютно чёрного тела, проблемы, которые не удавалось объяснить в рамках классической физики, а также возникновение квантовой гипотезы, предложенной Максом Планком. Проблема «ультрафиолетовой катастрофы», возникшая при попытке объяснить спектр излучения чёрного тела в конце XIX века, привела к глубокому кризису в физике и показала необходимость новых теоретических подходов. Гипотеза Планка о квантовании энергии не только решила данный кризис, но и положила начало развитию квантовой физики. В работе рассматриваются история появления формулы Планка, её восприятие научным сообществом и значение для современной физики и технологий. Исследование выполнено на основе исторического, теоретического и сравнительного анализа.

Ключевые слова: чёрное тело, спектр излучения, ультрафиолетовая катастрофа, гипотеза Планка, квантованная энергия, постоянная Планка, квантовая физика, фотоэффект.

BLACKBODY RADIATION AND THE HISTORICAL ROLE OF PLANCK'S HYPOTHESIS

*Akhmet Tansholpan Seydakhanyzy
Kaldymuratova Nurlyaiym Serzhanovna*

Scientific supervisor: Zhavliyeva Ardaq Tugelkyzy

This research provides a comprehensive analysis of the physical nature of blackbody radiation, the problems that classical physics failed to explain, and the emergence of Max Planck's quantum hypothesis. The "ultraviolet catastrophe," which arose in attempts to describe the blackbody radiation spectrum at the end of the 19th century, led to a profound crisis in physics and demonstrated the need for new theoretical approaches. Planck's hypothesis on the quantization of energy not only resolved this crisis but also paved the way for the development of quantum physics. This work examines the origin of Planck's formula, its reception within the

scientific community, and its significance for modern physics and technology. The study is based on historical, theoretical, and comparative research methods.

Keywords: blackbody, radiation spectrum, ultraviolet catastrophe, Planck hypothesis, quantized energy, Planck constant, quantum physics, photoelectric effect

REFERENCES

1. Milantiev, V. P. One Hundred Years of Planck's Constant //Physical Education in Universities. – 2002. – Vol. 8. – No. 1. – Pp. 10-21.
2. Planck, M. “On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum,” Annalen der Physik (1900/1901). URL: <https://strangepaths.com/files/planck1901.pdf>
3. Auyelbekova D. O., Amantayeva A. E., Khokhlov A. A. Modeling of the star 2MASS J02253615+ 2805508 //Engineering Journal of Satbayev University. – 2021. – Vol. 143. – No. 2. – P. 92-97. URL: <https://vestnik.satbayev.university/index.php/journal/article/download/127/282>
4. Kosov V. N., Tlebaev K. B., Khamraev Sh. I. Materials of the Physics Section of the 78th Annual Scientific Conference of Students and. URL: https://abaiuniversity.edu.kz/docs/docs/_2023_111.pdf
5. Lorenz G. A. Max Planck and quantum theory //Advances in Physical Sciences. – 1926. – Vol. 6. – No. 2. – P. 81-92. URL: https://scholar.archive.org/work/p63hkwcvjrbixp6f5ltzh3untu/access/wayback/http://ufn.ru/ufn26/ufn26_2/Russian/r262a.pdf
6. Dmitriev, I. S. “I didn't really think about it” (M. Planck and the quantum revolution) //Discourse. – 2019. – Vol. 5. – No. 5. – Pp. 5-19. URL: <https://discourse.elpub.ru/jour/article/download/278/284>