

13. ҚЫЛЫ КӨРІНБЕЙ КЕТЕТІН ПИРОМЕТРДІҢ КӨМЕГІМЕН ТЕМПЕРАТУРАЛАРДЫ ӨЛШЕУ

13.1 Жұмыстың мақсаты

Қара және қара емес денелердің сәуле шығару заңдарын зерттеу және оларды оптикалық әдіспен объектілердің жарықтылық температурасын анықтау үшін пайдалану. Жұмыстың барысында жылулық тепе-теңдік күй, нақты дене және жарықтылық температурасы ұғымдарын дұрыстап түсіну.

13.2. Қысқаша теориялық кіріспе

Жарық ағыны мөлдір емес дене бетіне келіп түседі деп ұйғаралық. Сонда жарық ағынының біразы одан шағылады, біраз үлесі денеге сіңіп, жұтылады. Дене жұтатын энергия энергияның басқа түрлеріне, көбінесе жылулық қозғалыс энергиясына айналады. Сәулелерді жұтатын денелер қызады. Қоршаған ортаның температурасынан жоғары температураға қыздырылған дене өзінің жылуын әртүрлі ұзындықтағы электромагниттік толқынның сәуле шығаруы (үздіксіз спектр) түрінде таратады. Қыздыру нәтижесінде шыққан жарық *температуралық* немесе *жылулық жарық* деп аталады. Кез-келген сәуле шығару, әрине, энергияның азайып жоғалуымен сипатталады: ол ішкі энергия есебінен, немесе сырттан энергия алудың нәтижесінде іске асады.

Денелердің жылулық сәуле шығаруы, негізінде, екі басты шамамен сипатталады.

Сәуле шығарудың *интегралдық* ε_T *интенсивтігі*, яғни энергетикалық жарқырауы; ол-дененің бірлік бетінен бірлік уақытта, толқын ұзындықтарының барлық аралықтарында шығарылатын сәулелік толық энергия Q_e :

$$\varepsilon_1 = \frac{Q_e}{S}, \text{ Вт/м}^2. \quad (13.1)$$

2. Сәуле шығарудың *монохроматты* (дифференциалды) ε_λ *интенсивтігі* (яғни энергетикалық жарқыраудың спектрлік тығыздығы); ол-дененің бірлік

бетінен бірлік уақытта, толқын ұзындықтарының бірлік аралығында шығарылатын энергия $dQ_{e,\lambda}$;

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{dQ_{e,\lambda}}{d\lambda \cdot S} \cdot \frac{V_m}{M^3} \quad (13.2)$$

Кейде бұл шаманы дененің *спектрлік сәуле шығарғыштық* қабілеті деп те атайды.

Сонымен жоғарыда келтірілген жарық шығарудың интегралдық және монохроматты интенсивтіліктерінің байланысынан дененің белгілі T температурада толық сәуле шығарғыштық қабілетін былай өрнектеуге болады:

$$\varepsilon_T = \int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda} d\lambda \quad (13.3)$$

Мұндағы ε_{λ} толқын ұзындығы мен температураға тәуелді. Толқындар ұзындығы λ мен $\lambda + d\lambda$ аралығында денеге түскен монохроматты жарық $\Phi_{e,\lambda_{\text{түс}}}$ ағынының кейбір бөлігі $\Phi_{e,\lambda_{\text{жүт}}}$ жұтылады және де сәулелік энергияның қайсыбір бөлігі $\Phi_{e,\lambda_{\text{шағ}}}$ шағылады. Энергияның сақталу заңына байланысты

$$\Phi_{e,\lambda_{\text{түс}}} = \Phi_{e,\lambda_{\text{жүт}}} + \Phi_{e,\lambda_{\text{шағ}}} \quad (13.4)$$

болады. Теңдіктің оң және сол жақтарын $\Phi_{e,\lambda_{\text{түс}}}$ -ке бөліп, төмендегі өрнекті алуымызға болады:

$$\frac{\Phi_{e,\lambda_{\text{жүт}}}}{\Phi_{e,\lambda_{\text{түс}}}} + \frac{\Phi_{e,\lambda_{\text{шағ}}}}{\Phi_{e,\lambda_{\text{түс}}}} = 1 \quad (13.5)$$

(13.5) теңдеудегі $\frac{\Phi_{e,\lambda_{\text{жүт}}}}{\Phi_{e,\lambda_{\text{түс}}}} = \alpha_{\lambda,T}$ шама дененің жұтқыштық қабілетін

сипаттайды және ол *монохроматты жұтылу коэффициенті* немесе дененің *спектрлік сәуле жұтқыштық қабілеті* делінеді. Спектрлік жұтқыштық қабілет денеге келіп түскен сәулелік энергияның монохроматты ағынының қандай үлесі жұтылғанын көрсетеді, бұл өлшемі жоқ, әрі толқын ұзындығына, әрі температураға тәуелді шама.

Ал $\frac{\phi_{e,\lambda_{\text{шаг}}}}{\phi_{e,\lambda_{\text{тус}}}} = \Gamma_{\lambda,T}$ шама дененің *спектрлік шағылу қабілетін* сипаттайды

және ол келіп түскен монохроматты энергия ағынының қандай үлесінің денеден шағылатындығын көрсетеді. Бұл шаманың да өлшемі болмайды.

Сонымен энергияның сақталу заңы төмендегіше жазылады:

$$a_{\lambda,T} + r_{\lambda,T} = 1 \quad (13.6)$$

Егер дене бетіне түскен сәулелік энергияны талдамай, толық жұтатын болса, ондай дене *абсолют қара дене* деп аталынады. Абсолют қара денелер үшін: $\Gamma_{\lambda,T} = 0$ және $\alpha_{\lambda,T} = 1$

Табиғатта толқын ұзындығы қандай екеніне қарамай барлық сәулелерді түгел жұтатын абсолют қара дене кездеспейді. Қара дене деп саналатын нақты денелер тек көрінетін сәулелерді ғана жақсы жұтады, соның өзінде де оларды толық жұтпайды. Мысалы, қара *күйе* немесе *платина күйесі* көрінетін жарықтың *0,99* үлесін ғана жұтады, инфрақызыл жарықты нашар жұтады. Алайда абсолют қара дене ролін атқара алатын денені қолдан жасауға болады, мысалы кішкене тесігі бар үлкен қуыс дене абсолют қара дене орнына жүре алады. Осындай қуыстың ішіне енген сәуле қайтып сыртқа шыққанша оның қабырғасының ішкі бетінен сан рет шағылады, әр жолы түскен жарықтың өте аз үлесі ғана кері қарай серпіледі. Іс жүзінде бұл қуыс енген жарықты толығымен жұтады. Сөйтіп кішкене тесігі бар қуыс дене абсолют қара дене қызметін атқарады. Осы айтылғанға негіздеп қасиеттері жағынан абсолют қара денеге ұқсас сәулелік энергия көзін жасауға болады. Егер осы қуыс дененің корпусын қыздыратын болсақ, онда кішкене тесіктен шығатын жарық ағынын, қара дененің сәуле шығарғыштығы ретінде *спектрофотометрлердің* көмегімен бағалауға болады.

Қара денелермен қатар кездесетін барлық нақты денелердің сәуле жұтқыштық қабілеттері бірден кем және келіп түсетін жарық ағынының толқын ұзындығына тәуелді емес. Бұларға жарық құрылымын өзгертпейтін әлсіреткіш жарық фильтрлерін жатқызуға болады.

Кирхгоф денелердің жылулық сәуле шығаруын зерттей отырып, жылулық тепе-теңдік күй шартын тағайындады. Ол шарт бойынша дененің сәуле шығарудағы монохроматты спектрлі интенсивтігінің оның сәуле жұтқыштық қабілетіне қатынасы, берілген температура және берілген сәуле толқын ұзындығы үшін барлық денелерге бірдей тұрақты шама:

$$\frac{\varepsilon_{\lambda,T}}{a_{\lambda,T}} = \text{const} = f(\lambda, T) = \varepsilon_{\lambda,T}^0 \quad (13.7)$$

Мұндағы $\varepsilon_{\lambda,T}^0$ - абсолют қара дененің монохроматты интенсивтігі. Абсолют қара дене үшін $\alpha_{\lambda,T}^0 = 1$ болғандықтан абсолют қара денеге Кирхгоф заңын қолдансақ, онда

$$\varepsilon_{\lambda,T} = \varepsilon_{\lambda,T}^0$$

Демек, Кирхгофтың әмбебап (универсал) $f(\lambda, T)$ функциясы абсолют қара дене жарық шығаруының монохроматты интенсивтігінің (спектрлік сәуле шығарғыштығының) функциясы болып табылады.

Барлық басқа денелер үшін Кирхгофтың сәуле шығару заңы мына түрде жазылады:

$$\varepsilon_{\lambda,T} = a_{\lambda,T} \cdot \varepsilon_{\lambda,T}^0$$

Сәуле шығарудың кванттық табиғаты туралы өзі ұсынған гипотезаға сүйеніп және статистикалық физика әдістерін пайдалана отырып, Планк *абсолют қара дене сәуле шығарғыштық қабілетінің толқын ұзындығы мен температураға тәуелділігін* дұрыс көрсететін формула қорытып шығарды. Бұл формуланың тұжырымды түрі мынадай:

$$\varepsilon_{\lambda,T}^0 = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (13.8)$$

Мұнда h -Планк тұрақтысы, k -Больцман тұрақтысы, c - вакуумдағы жарық жылдамдығы. Планктың формуласы бойынша абсолют қара дене спектрінде энергияның таралуын (үлестірілуін) толық түсіндіруге болады. (13.3) және (13.7) формулалар негізінде, (13.8) Планк формуласын толқын

ұзындықтарының барлық аралықтары бойынша интегралдау арқылы қара дененің сәуле шығаруының интегралдық интенсивтігін анықтауға болады:

$$\varepsilon_T = \int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda,T} d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4 \quad (13.9)$$

Демек, абсолют қара дененің бетінен $1c$ шығарылатын сәулелік толық энергия мөлшері оның төрт дәрежеленген термодинамикалық температурасына пропорционал (*Стефан-Больцман заңы*). Формуладағы $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$ - Стефан-Больцман тұрақтысы.

Планк функциясынан толқын ұзындықтары бойынша сәуле шығарудың таралуы туралы тұжырым жасауға болады. Сәуле шығару интенсивтігінің максимумы $\frac{d\varepsilon_{\lambda,T}}{d\lambda} = 0$ шарттан анықталады; бұл төмендегі өрнектерге әкеледі, олар:

$$\lambda_{\max} = \frac{b_1}{T} \text{ және } \varepsilon_{\lambda_{\max}} = b_2 T^5 \text{ (Вин заңдары)} \quad (13.10)$$

Мұндағы $b_1 = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$, $b_2 = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ Вт/м}^3\text{К}^5$.

Қара дененің сәуле шығару интенсивтігін (жарықтылығын) бағалау үшін Вин (Планк формуласының орнына) төмендегі қатынасты ұсынды:

$$\varepsilon_{\lambda,T}^0 = c_1 \lambda^{-5} \cdot e^{-c_2/\lambda T} \quad (13.11)$$

Мұндағы c_1 және c_2 -тұрақты шамалар.

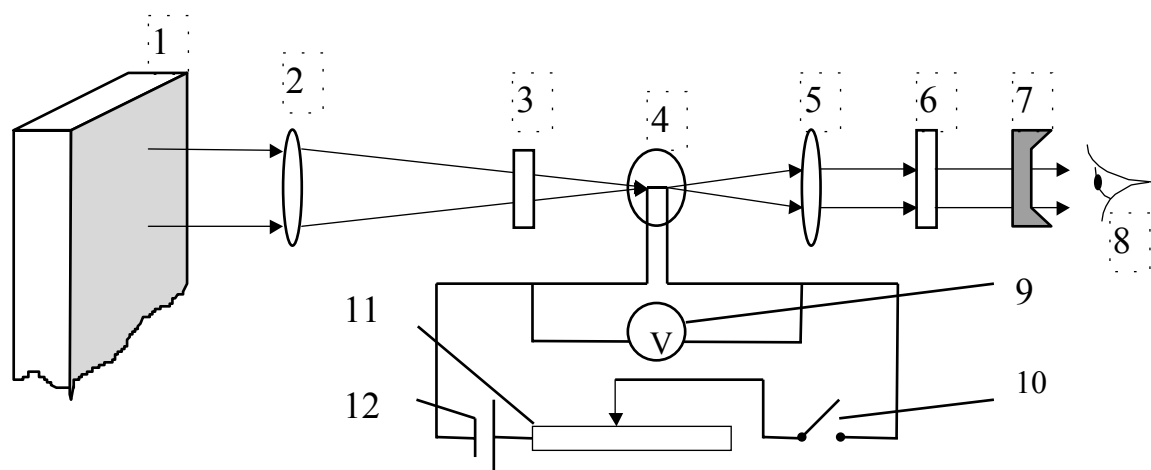
(13.11) теңдеуі бойынша спектрдің вакуум алқабындағы ($T \approx 2900 \text{ К}$)

сәуле шығару интенсивтігін есептеудегі қателік 1%-тен аспайды. Вин формуласын толқын ұзындықтары 460 нм - ден 760 нм-ге (көбінесе $\lambda = 650 \text{ нм}$) дейінгі аралықта жататын сәулелерді пайдалана отырып, оптикалық пирометрияда қолданады.

13.3. Қондырғының сипаттамасы

Төмендегі 1.3-суретте қондырғының принциптік оптикалық схемасы келтірілген. Мұнда: 1-қыздырылған зерттелінетін дене, 2-пирометр көру

трубасының объективі, 3-әлсіреткіш жарық фильтрі (нақты буалдыр ,жұтатын шыны), 4-фотометрлік лампа (шам), 5-пирометр көру трубасының окуляры, 6-монохроматты жарық фильтрі (қызыл), 7-сәулелер шығатын, 8-бақылаушының көзі, 9-электр өлшеуіш прибор - екі рамкалы магнитэлектрлік жүйедегі дифференциалды амперметр; рамканың негізгісі лампаға параллель, ал қосымшасы қарсы жағында лампаға тізбектеліп жалғанады (схемада соңғысы көрсетілмеген). Прибордың шкаласы жарықтылық температурасының Цельсия градусымен градуирленген; 10- қоректендіру көзін қосып-ажыратқыш, 11-фотометрлік лампа тоғын (жарықтылықты) реттейтін реостат, 12-ламpany қоректендіру көзі (біздің жағдайда-төменгі вольтті түзеткіш).



13.1-сурет. Қондырғының принциптік оптикалық және электрлік схемасы

Қыздырылған дене ретінде прожектор типті қыздыру лампы пайдаланылады. Ол реттегіш автотрансформатор арқылы электр жүйесінен қоректенеді. Қыздыру лампының пайдаланылатын қуаты ваттметрмен бақыланады. Зерттелінетін қыздыру лампының температурасы оның түсін, сәуле шығару интенсивтігін пирометрдің фотометрлік лампы қылының түсімен және интенсивтігімен салыстыру нәтижесінде табылады.

Ескеретін нәрсе: бұл жағдайда мұнда кара дененің жарықтылық температурасы $T_{\text{жар}}$ бағаланады. $T_{\text{жар}}$ деп сәуле шығарудың монохроматты $\epsilon_{\lambda, T_{\text{жар}}}^0$ интенсивтігі (жарықтылығы) зерттелінетін дененің сол толқын

ұзындығы λ үшін монохроматты жарық-тылығына $\varepsilon_{\lambda,T}$ тең болатын қара дененің температурасын айтады (мұндағы T -зерттелінетін дененің шын немесе термодинамикалық температурасы). Осыдан (13.11) формулаға сай, төмендегі өрнекті алуымызға болады:

$$\frac{1}{T_{\text{жар}}} = \frac{1}{T_{\text{терм}}} - \frac{\lambda k}{ch} \ln \alpha_{\lambda,T} \quad (13.12)$$

Жарықтылық температурасының анықтамасынан және (13.12) өрнектен, $T_{\text{жар}} > T_{\text{терм}}$ болатындығы айқын.

13.4. Жұмыс тапсырмалары және эксперимент әдістемесі

13.4.1. ОППИР-09 (ОППИР-017) қылы көрінбей кететін оптикалық пирометрдің құрылысымен және жұмыс істеу принципімен танысыңыздар.

13.4.2. Пирометрмен зерттелінетін жарқыраған денені тізбекке қосу схемасын тексеріңіз.

13.4.3. Қондырғыны өлшеуге дайындаңыз. Алдымен оны қоректендіру блогіне қосыңыз; реостаттың қозғалыс тетігінің сақинасын бұрау арқылы пирометр лампасының қылы белгілі мәнде аздап қыздырылуы қажет. Окулярдың тубусын бойлық бойымен жылжыта отырып, осы лампа қылының айқын көрінісін табу керек. Осыдан кейін зерттелінетін лампаны ток көзіне қосып, оның қылының кез-келген қызу мәнін тағайындаңыз. Прибор объективінің тубусын бойлық бойымен жылжыта отырып, енді зерттелінетін лампа қылының айқын кескінін табу керек. Приборды екі қыздыру қылы біріне-бірі беттесетіндей етіп орналастыру қажет.

13.4.4. Әртүрлі қуатты ($N_{\text{max}}=120 \text{ Вт}$) электр лампасының жарықтылық $T_{\text{жар}}$ температурасын анықтаңыз (өлшеуді интервалы 10 Вт болатындай етіп жүргізу керек). Осы мақсатпен зерттелінетін лампа үшін оның тұтынатын қуатының N_i белгілі мәнін тағайындау қажет. Пирометр реостатының қозғалыс тетігі сақинасын бұрау арқылы пирометрлік және зерттелінетін лампалардың қыздыру қылы жарықтылықтарының бірдей болуына (теңгерілуіне) көз жеткізу

керек және прибордың шкаласы бойынша жарықтылық $T_{\text{жар}}$ температурасын есепке алыңыздар.

Ескерту: Аралықтары (интервалы) $700 \div 750^{\circ}\text{C}$ болатын температураларды өлшегенде пирометрдің жарық фильтрлері пайдаланылмайды; $800 \div 1200^{\circ}\text{C}$ аралығында қызыл жарық фильтрі ($\lambda = 650 \text{ нм}$), ал $1400 \div 2000^{\circ}\text{C}$ аралығында қосымша әлсіреткіш жарық фильтрі қолданылады.

13.4.5. Зерттелетін дененің шын (термодинамикалық) $T_{\text{терм}}$ температурасын, 13.4.4-пункте көрсетілген интервалдар үшін, төмендегі өрнек бойынша есептеп табыңыздар:

$$T_{\text{терм}} = T_{\text{жар}} + \Delta T, \text{ мұндағы түзеткіш } \Delta T = -\frac{\lambda T_{\text{жар}}^2}{C_2} \ln \alpha_{\lambda, T}; \quad T_{\text{жар}}\text{-пирометр}$$

шкаласы бойынша алынатын жарықтылық температура, К ; $C_2 = ch/k = 1,439 \cdot 10^{-2}$ м.к; $\alpha_{\lambda, T} = 0,45$ -толқын ұзындығы 650нм, температуралары 1000°C дан 2000°C дейінгі шектерде болатын тотықпаған вольфрамның монохроматты сәуле шығарудағы қаралық коэффициенті.

13.4.6. Логарифмдік координаталар жүйесінде $T_{\text{терм}} = f(N)$ графигін тұрғызыңыздар.

13.4.7. Стефан-Больцман формуласындағы дәреже көрсеткішін анықтаңыздар: $N = AT^n$, мұндағы N -электр лампы тұтынатын қуат. Бұл мақсатқа 13.4.6-пунктегі графикті пайдаланыңыз.

13.5. Бақылау сұрақтары

13.5.1. Жылулық сәуле шығарудың негізгі сипаттамалары.

13.5.2. Жарықтылық температурасы дегеніміз не? Оны өлшеу әдісінің негізіне қандай заң жатады?

13.5.3. Қылы көрінбей кететін пирометрдің принциптік схемасы мен жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз.

13.5.4. Стефан-Больцман заңы. σ тұрақтысының физикалық мәнін түсіндіріңіз.

13.5.5. Қара дене немен сипатталады?

13.5.6. Жылулық тепе-теңдік күй дегеніміз не?

13.6. Әдебиет

13.6.1. Ландсберг Г.С. Оптика. -М.: Наука, 1976

13.6.2. Физический практикум. Электричество и оптика.
Под редакцией В.И. Ивероновой-М.: Наука, 1968.

13.6.3. Полатбеков П. Оптика. -Алматы: Мектеп, 1981.

13.6.4. Матвеев А.Н. Оптика. -М.: Высшая школа, 1985.