

# Жылулық сәуле шығару

# ЖОСПАР:

- ◎ *Жылулық сәуле шығару*
- ◎ *Спектрдің түрлері. Спектрлік анализ*
- ◎ *Қара дененің сәуле шығару заңдары*

# Жылулық сәуле шығару

Жылулық сәуле шығару теориясы Кирхгофтың 1859ж. жылулық сәуле шығарудың негізгі заңын ашқан кезден басталады. Ол қара дене концепциясын және оның моделін ұсынды. Осы уақыттан бастап 20ғ. басына дейін қара дененің сәуле шығару проблемасы физикада ең бір өзекті проблема ретінде қарастырылды. Бірақта сәуле шығарудың классикалық теориясы жылулық сәуле шығару заңдарын, атомдар мен молекулалардың спектрлерін қанағаттанарлық дәрежеде түсіндіре алмады. Осы проблемаларды сәуле шығарудың кванттық теориясы аясында шешу мүмкін болды. Сәул шығарудың кванттық теориясының басталуына жол ашқан бірінші жұмысты Планк жариялады (1900). Ол ең алғаш атомдық жүйелер электромагниттік толқындарды үздіксіз емес, үлестермен, кванттармен шығарады деп ұйғарып тепе-теңдіктегі жылулық шығарылған сәуле спектріндегі энергияның үлестірілуі үшін формуланы қорытып шығарды.

**Жылулық сәуле шығару - бұл қыздырылған дененің шығарған жарығы. Күннің жарығы, май шамның жалыны, қыздыру лампасының жарығы, электр доғасы, адам денесінің инфрақызыл сәулесі - мұның бәрі жылулық сәуле шығару мысалдары. Жылулық сәуле шығару әртүрлі жарық көздерінде пайдаланылады. Ол көптеген физикалық жүйелердегі жылулық балансқа едәуір ықпалын тигізеді, мәселен, Жер бетінің орташа температурасын анықтайды. Сәуле шығарудың осы түрінің теориясы физика үшін маңызды, өйткені, бір жағынан жылулық сәуле шығару әмбебап, оның Табиғаты нақты материалмен де, тіпті атомның құрылысымен де байланысты емес, ал екінші жағынан, жылулық сәуленің пайда болуына жарық пен заттың іргелі термодинамикасы себепші болады да , осы сәуленің қасиеттері атомдардың жарықты кезкелген мөлшерде емес, тек қатаң белгілі дискреттік үлестермен (кванттармен) шығаруға немесе жұтуға қабілетті екендігіне тікелей нұсқайды.**

# Жылудық сәуле шығару мысалдары









# Спектрдің түрлері

Әр түрлі заттардың сәуле шығаруының спектрлік құрамы түрліше болады. Бірақ бұған қарамастан, тәжірибе көрсеткендей, барлық спектрлерді бір-бірінен тіпті өзгеше үш түрге болуге болады.



# Үзіліссіз спектрлер

- Күн сәулесінің немесе доғалық фонарьдың спектрі үзіліссіз болып табылады. Бұл - спектрде барлық толқын ұзындықтары бар деген сөз
- Үзіліссіз немесе тұтас спектрлерді, тәжірибе көрсеткендей тек қатты немесе сұйық күйдегі денелер, сондай-ақ қатты сығылған газдар береді. Үзіліссіз спектр шығарып далу үшін денені жоғары температураға дейін қыздыру керек. Үзіліссіз спектрді сондай-ақ жоғары температурадағы плазма береді.

# СЫЗЫҚТЫҚ СПЕКТРЛЕР

Сызықтық спектрлерді газ күйіндегі атомдық (бірақ молекулалық емес) барлық заттар береді. Бұл жағдайда іс жүзінде бірімен бірі өзара әсерлесетін атомдар жарық шығарады. Бұл — спектрлердің ең іргелі, негізгі түрі. Дараланған атомдар қатаң белгілі ұзындықтағы толқын шығарады. Әдетте сызықтық спектрлерді бақылау үшін жалындағы зат буларының жарқылы немесе зерттелетін газ толы түтіктегі газ разрадының жарқылы пайдаланлады.

# Жолақ спектрлер

- Жолақ спектр өзара аралықтармен бөлінген жеке жолақтардан тұрады. Өте жақсы спектрлік аппараттардың жәрдемімен әрбір жолақтың өте тығыз орналасқан көп сызықтардың жиынтығы екенін байқауға болады. Сызықтық спектрлерді атомдар беретін болса, жолақ спектрлерді бір-бірімен байланыспаған немесе нашар байланысқан молекулалар туғызады.
- Қандай да бір заттың сәуле шығаруындағы жиіліктер немесе толқын ұзындықтары жиынтығы сол заттың шығару спектрі деп аталады. Берілген зат жұтатын жиіліктер немесе толқын ұзындықтары жиынтығы сол заттың жұту спектрі деп аталады.

# СПЕКТРЛІК АНАЛИЗ

Заттың спектріне қарап оның химиялық құрамы мен оған енетін атомдар концентрациясын анықтауды спектрлік анализ деп атайды. Сандық спектрлік анализде концентрацияны анықтау үшін спектрлік сызықтар мен жолақтардың орналасуы ғана емес олардың интенсивтілігі де қарастырылдаы. Сандық спектрлік анализ әдісімен күрделі зат құрамындағы берілген элементтің өте аз мөлшерін анықтауға мүмкіндік туады.

# Спектрлік тығыздық

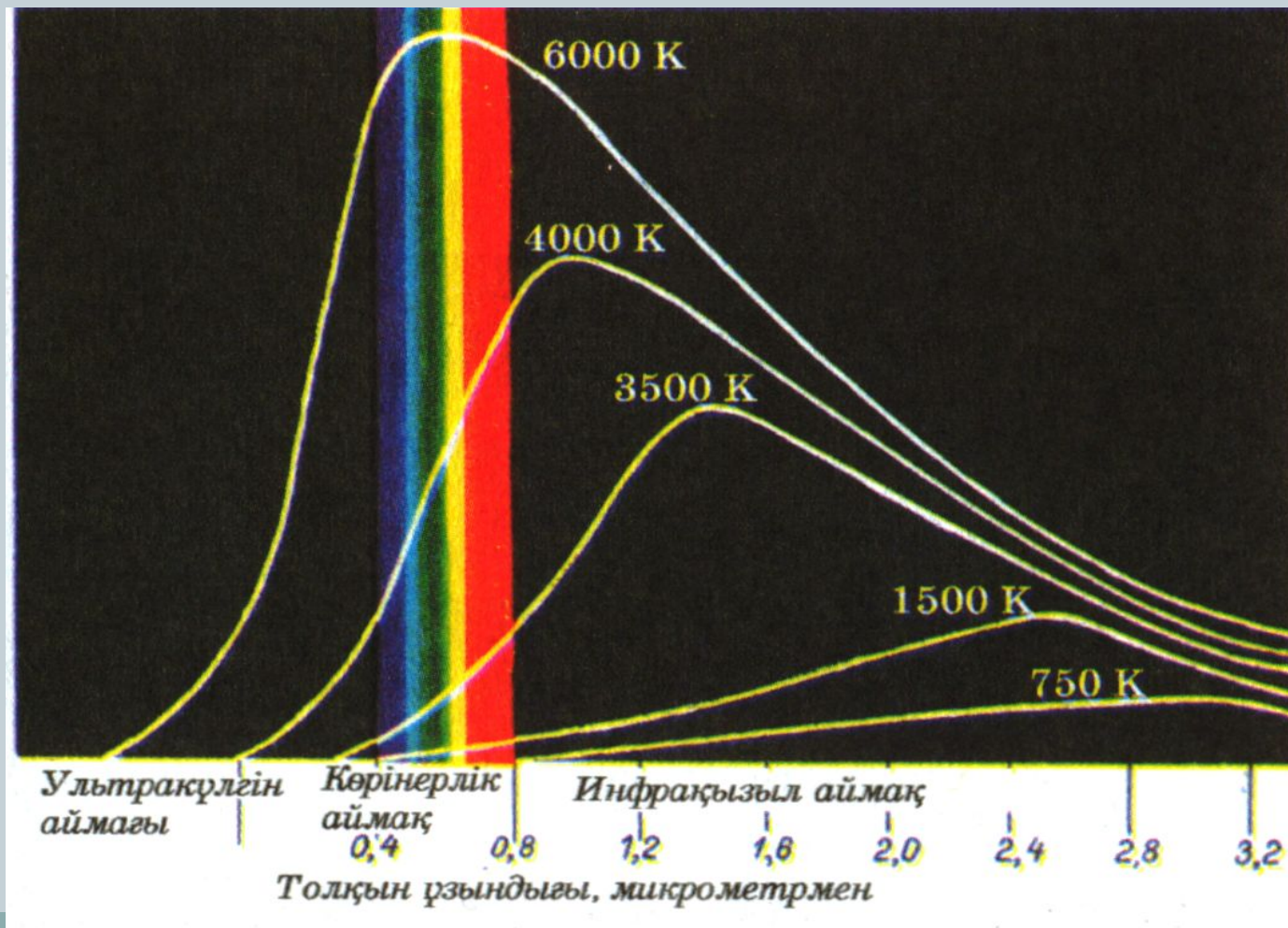
$$r = \frac{\Delta R}{\Delta \nu}$$

# СПЕКТРДІҢ ЖҰТУ ҚАБІЛЕТІ

$$a = \frac{\Delta \Phi^I}{\Delta \Phi}$$



# Кейбір температурадағы абсолютті қара дене шығарған сәуденің спектрлік талдауы



# Қара дененің сәуле шығару заңдары

- \* Т температураға дейін қыздырылған ішіне қуыс істелген дене бар болсын.
- \* Қуыстың қабырғалары жылулық сәуле шығаратындықтан, қуыс осы сәулемен толтырылған болады. Дене температурасы тұрақты етіп ұсталатын стационарлық жағдайларда қуыстағы жылулық сәуленің сипаттамаларының тұрақты және белгілі мәндері болады, дәлірек айтқанда, қуыс қабырғаларының жарық шығару және жұту процестері өзара бірін-бірі теңестіретіндей мән-дері болады. Басқаша айтқанда, стационарлық жағдайларда қуыс қабырғалары мен оның ішіндегі сәуле арасында жылулық тепе-теңдік орнайды. Осы жағдайда қуыстағы жылулық сәуле **тепе-теңдік сәуле** деп аталады. Қуысты сыртқы кеңістікпен қосатын кішкене тесік істеп тепе-теңдік жылулық сәулені зерттеуге болады. Осы тесік арқылы тепе-теңдік жылулық сәуле қуыстан сыртқа шығатын болады және оның сипаттамаларын өлшеуге болады.

# Кирхгофтың сәуле шығару заңы

- 1859ж. неміс физигі Г. Кирхгофтың ашқан заңына сәйкес тепе-теңдік күйде сәуле шығарғыштық қабілеттіліктің сәуле жұтқыштық қабілеттілікке қатынасы дене табиғатына тәуелді емес:

$$\frac{r(\omega, T)}{\alpha(\omega, T)} = f(\omega, T)$$

- Мұнда  $r$  - барлық денелер үшін бірдей жарық жиілігі мен дене температурасының әмбебап функциясы, қара дененің сәуле шығарғыштық қабілетілігі деп аталады. Осы атаудың мағынасы қара дене анықтамасынан түсінікті, осы анықтамаға сәйкес осындай дене үшін  $r = \alpha$ , демек,  $f = 1$ . Алғашында Кирхгоф осы заңды термодинамика түсініктерін пайдаланып теориялық қорытып шығарды. Кейіннен осы заң тәжірибеде расталды.



- Кирхгоф заңын растайтын теориялық ой-пікірлерді қарастырайық. Тепе-теңдік жылулық сәулемен толтырылған қуыс ішінде қандай да бір дене бар деп ұйғарайық. Сірә, жылулық тепе-теңдік күйдегі дененің жұтатын сәуле қуаты оның шығаратын қуатына тең:

$$dP_{\text{жұт}} = dP_{\text{шығ}}.$$

- өйткені бұлай болмаған жағдайда дене қыздырыла немесе салқындай басталар еді, ал бұл тепе-теңдіктің бұзылуына әкелер еді. Дененің сәуле шығарғыштық және жұтқыштық қабілеттіліктерінің анықтамаларын пайдаланып, мынаны жазамыз:

$$dP_{\text{жұт}} = \alpha dP_{\text{жұс}}$$

$$dP_{\text{шығ}} = r d\nu ds = r d\omega ds$$

- мұндағы  $\alpha$  - сәуле шығарғыштық қабілеттілік,  $r$  - сәуле жұтқыштық қабілеттілік,  $\nu$  - дене бетінің элементіне түсетін  $\nu$ -ден  $\nu + d\nu$ -ге дейінгі спектрлік аралығындағы жиілігі бар сәуле қуаты. (3)-(5) өрнектерінен мына өрнек шығады:

$$\alpha dP_{\text{жұс}} = r d\omega ds$$



# РЭЛЕЙ-ДЖИНС ФОРМУЛАСЫ

- Еркіндік дәрежелер бойынша энергияның теңдей үлестірілуі заңына сәйкес, тепе-теңдік жылулық күйдегі осциллятордың орташа энергиясы:

$$\langle \varepsilon \rangle = kT$$

- мұндағы - Больцман тұрақтысы, - жүйенің температурасы. Мәселен, механикалық осциллятор үшін орташа кинетикалық энергия орташа потенциалдық энергияға тең және ол  $kT/2$  -ге тең. Екі жағдайда да осциллятордың толық орташа энергиясы  $kT$ -ға тең.

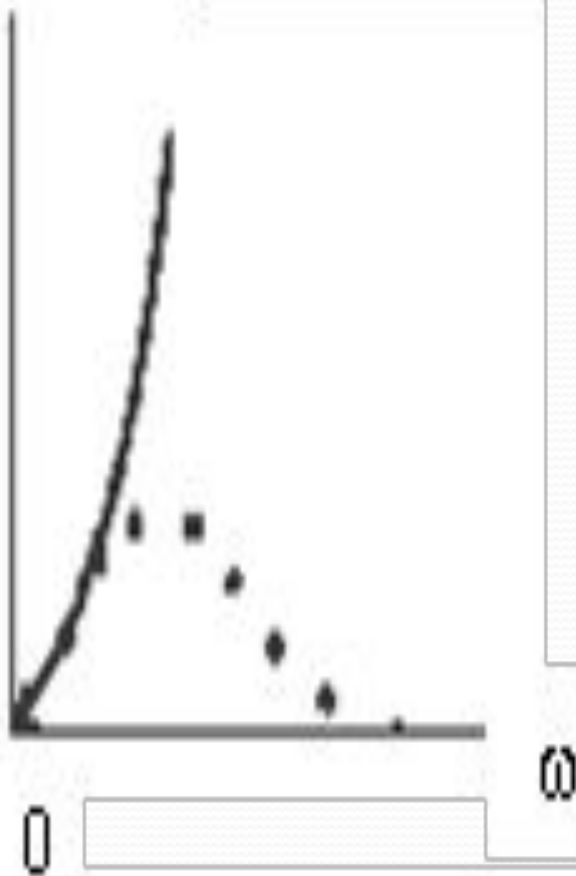
$$\rho(\omega, T) = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^2} kT$$

- Тепе-теңдік жылулық шығарылған сәуленің спектрлік тығыздығы үшін осы өрнек **Рэлей-Джинс формуласы** деп аталады.





$\rho(\omega, T)$



7-сурет

7-суретте үлестірілуінің тәжірибеде өлшенген түрі және Рэлей-Джинс формуласы бойынша тұрғызылған теориялық қисығы көрсетілген. Эксперименттік және теориялық тәуелділіктердің сапалық айырмашылығы көрініп тұр, демек, Рэлей-Джинс формуласы жиіліктердің барлық аймағында дұрыс деп қабылдауға болмайды. Дегенмен ұзын толқындық аймақта осы формула тәжірибемен жақсы үйлеседі. Осы жағдай және де Рэлей-Джинс формуласының негізіне алынған қағидалардың айқындылығы мен қарапайымдылығы төменгі жиіліктер аймағында осы формула дұрыс және жиіліктердің бүкіл аймағы үшін жарамды болатын толығырақ формула табылғанда ол тиісті шектік жағдайда Рэлей-Джинс формуласына ауысуы тиіс деп ұйғаруға мүмкіндік береді.

# ПЛАНК ФОРМУЛАСЫ

1900ж. аяғына таман тепе-теңдік жылулық сәуле шығаруды зерттеулерде мынандай жағдай қалыптасты. Жылулық сәуленің спектрлік тығыздығына дәл эксперименттік өлшеулер жүргізілді (Люммер мен Прингетейм, Рубенс пен Курлбаум және басқалар). (29) Рэлей-Джинс формуласы белгілі еді және ол қисығының төменгі жиіліктер бөлігін дұрыс бейнелейтіндігі айқын болды. Және де Виннің мына формуласы:

$$\rho(\omega, T) \sim \omega^3 \exp(-\beta\omega/T)$$

белгілі еді; бұл формула жоғары жиіліктер аймағында экспериментпен жақсы үйлеседі. Сонымен үлестірілуінің мына асимптотикалары белгілі болды:

$$\rho(\omega, T) \sim \begin{cases} \omega^2 T, \omega \rightarrow 0 & \text{(Рэлей-Джинс формуласы)} \\ \omega^3 \exp(-\beta\omega/T), \omega \rightarrow \infty & \text{(Вин заңы)} \end{cases}$$

үшін жиіліктердің барлық аймағына жарамды өрнекті алуға әрекеттеніп М. Планк (31) шарттарын қанағаттандыратын формула ойлап тапты. Осы формула қазіргі белгілеулерінде мына түрде жазылады және **Планк формуласы** деп аталады:

$$\rho(\omega, T) = \frac{1}{\pi^2 c^3} \frac{\hbar \omega^3}{e^{\hbar\omega/kT} - 1}$$



• Первый, Макс Планк (1858-1947) ввел в науку представление о квантах электромагнитного поля. Немецкий физик, один из основоположников квантовой теории, иностранный член-корреспондент Петербургской АН (1913) и почетный член АН СССР (1926). Ввел (1900) квант действия (постоянная Планка) и, исходя из идеи квантов, вывел закон излучения, назван его именем. Труды по термодинамике, теории относительности, философии естествознания. Нобелевская премия (1918).

