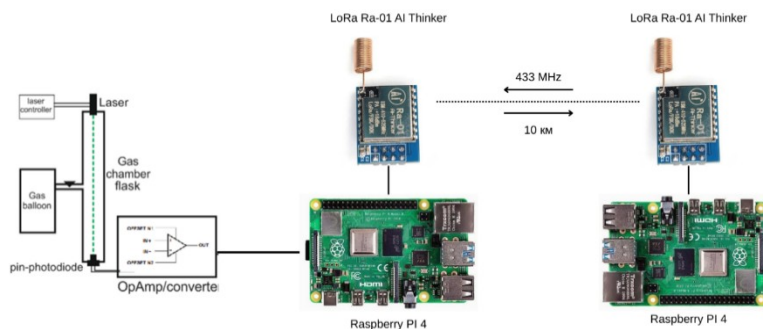


Жоба туралы қысқаша ақпарат

Жоба аты	AP26102313 «Лазерлік сенсор сигналдарының когеренттілігі мен қанығуы»
Жоба өзектілігі	Жобаның өзектілігі өнеркәсіптік және экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету (жарылыстардың, өрттердің және уланудың алдын алу) үшін маңызды болып табылатын газдық орталарды анықтау мен талдаудың жаңа, жоғары сезімтал және сенімді әдістерін әзірлеу қажеттілігімен негізделеді. Дәстүрлі спектралдық әдістер газдарды талдауда шектеулі сезімталдыққа ие және лазерлік сенсорлардың жұмысының бейсызық, флуктуациялық және хаостық режимдерін толық ескермейді. Осыған байланысты лазерлік сенсор сигналдарындағы өзін-өзі ұйымдастыру, когеренттілік және қанығу процестерін неғұрлым дәл сипаттауға мүмкіндік беретін информациялық-энтропиялық және флуктуациялық-диссипациялық заманауи тәсілдерді қолдану ерекше маңызға ие. Аталған бағытта жүргізілген зерттеулерге қарамастан, флуктуациялық сигналдардың физикалық табиғаты және олардың газ концентрациясымен байланысы жеткілікті деңгейде зерттелмеген. Ұсынылып отырған жоба осы ғылыми олқылықты жаңа сандық сигналдарды өңдеу әдістері мен эксперименттік тәсілдерді әзірлеу арқылы жоюға бағытталған, бұл газдарды сәйкестендіру дәлдігін арттыруға және лазерлік сенсорлық жүйелердің практикалық қолдану мүмкіндіктерін кеңейтуге мүмкіндік береді.
Жоба мақсаты	Бұл жобаның мақсаты лазерлік сәулелену сигналы бойынша өндіріс өшірілгенге дейін газ түрін және оның қанығу концентрациясын анықтаудың жаңа теориялық моделін құру болып табылады. Физикалық эксперименттер жүргізу, өндіріске ұсыныс жасау үшін IoT сандық технологиясымен сенсор үлгілерін жасау.
Жоба міндеттері	1. Кездейсоқ күш әсері бар Эйнштейн–Смолуховский теңдеуінен лазерлік газ сенсорының шығыс кернеуі үшін жиілік және толқындық сан бойынша корреляциялық функцияларды анықтау (сенсорика физикасындағы Лоренц спектрі, математикадағы Коши формуласы). 2. Лоренц спектріні мақсатты газ концентрациясының оның фотон энергиясы мен тербеліс квантының жылулық энергиясы тең болатын мәніне қатынасына тәуелді түрде C/C_* түрінде көрсету. 3. Әртүрлі молекулалық симметрия құрылымы бар газдар (метан, аммиак, этанол) үшін лазерлік сенсор сигналдарындағы когеренттілік ($C < C_*$) және қанығу ($C > C_*$) режимдерін анықтау. 4. Әртүрлі концентрациядағы газдар арқылы лазер сәулесінің өтуі кезінде жартылай өткізгіш фотодиодтың жауап беруінің эксперименттік нәтижелерін алу. 5. Құрылғының электр желісінен қоректенуінен

	туындайтын сигналдың периодтың екі еселену бифуркациялары салдарынан пайда болатын флуктуациялар негізінде негізгі жиілік маңындағы Лоренц спектрін алу. 6. Сенсордың эксперименттік сигналындағы когеренттілік пен контрасттың сандық критерийі ретінде шартты ақпарат мәндерін анықтау. 7. Когеренттілік ($C < C_*$) және қанығу ($C > C_*$) эксперименттік режимдері үшін диссипациялық функцияның $\tanh(2C/C_*)$ мәндерін анықтау. 8. $\tanh(2C/C_*)$ мәндерін талдау орталығына IoT технологиялары арқылы сымсыз жеткізуге арналған цифрлық алгоритмдерді әзірлеу және аппараттық іске асыру. 9. Өндірісте лазерлік газ сенсорының үлгісі үшін параметрлердің оңтайлы мәндері бойынша ұсынымдар әзірлеу және патенттерді рәсімдеу.
Күтілетін және қол жеткізілген нәтижелер	Күтілетін нәтижелер: 2025 жылға: Лоренц типті қуат спектрінің жиілікке және спектрдің жарты еніне тәуелділігінің аналитикалық формуласы алынатын болады. Лоренц спектрінің нормаланған концентрацияға C/C_* тәуелділігі анықталады, мұндағы C_* фотон энергиясы мен жылулық энергияның теңдігіне сәйкес келеді. $C < C_*$ және $C \geq C_*$ жағдайлары үшін диссипация функциясының графиктері тұрғызылып, газдық ортадағы жылулық және когерентті режимдер арасындағы ауысу көрсетіледі. 2026 жылға: Әртүрлі газдар үшін олардың молекулалық құрылымын ескере отырып, дисперсия, корреляция және флуктуациялық кернеулердің эксперименттік графиктері тұрғызылады. Әртүрлі молекулалық құрылымы бар газдар үшін концентрацияның бифуркациялық мәндері C_* теориялық және эксперименттік түрде анықталады. Эксперименттік деректер негізінде когерентті күй үшін шартты ақпараттың нормаланған мәндері есептеліп, сигналдың реттелу дәрежесін сандық тұрғыда бағалауға мүмкіндік береді. 2027 жылға: $\tanh(2C/C_*)$ функциясының графиктері теориялық модельдер мен эксперименттік деректер негізінде $C < C_*$ және $C \geq C_*$ режимдері үшін тұрғызылады. IoT технологияларын пайдалана отырып, әртүрлі газ қоспалары үшін $\tanh(2C/C_*)$ функциясының нәтижелерін сымсыз беру алгоритмдері мен әдістері әзірленеді. Ғылыми жарияланымдар дайындалып, ұсынылады, патенттерге (соның ішінде пайдалы модельдерге) өтінімдер беріледі, сондай-ақ алынған нәтижелерді өндірістік үдерістерге енгізу бойынша ұсынымдар әзірленеді. 2025 жылға қол жеткізілген нәтижелер: Лоренц типті қуат спектрінің жиілікке және спектрдің жарты еніне тәуелділігінің формуласы алынды. Флуктуациялық-диссипациялық қатынасты теориялық

талдау нәтижесінде негізгі жиілік ω_0 маңындағы флукутациялық сигнал қуат спектрінің аналитикалық түрі газ ортасында фотондардың жұтылуын ескере отырып шығарылды. Лоренц спектрі жиілік ω пен спектрлік сызықтың жарты еніне тәуелді функция ретінде алынған, бұл әлсіз жұтылу режимінде және $\hbar\omega_0 \ll 2kT$ шартында флукутациялардың энергетикалық құрылымын сипаттауға мүмкіндік берді. Алынған тәуелділік қанығу үрдісін талдаудың келесі кезеңдері үшін базалық модель ретінде қолданылады.

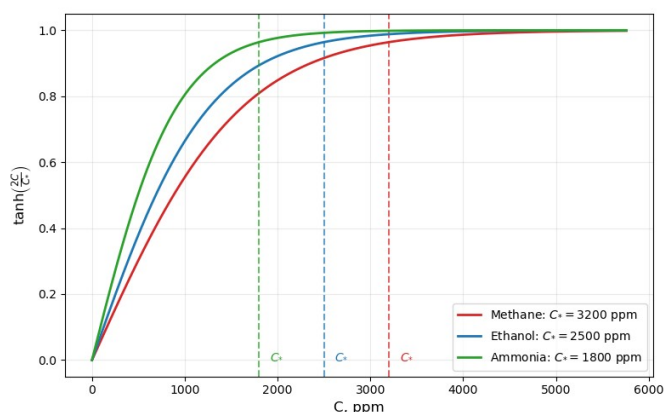


1-сурет. Сенсор деректерін қашықтыққа беру блок-схемасы

Лоренц спектрінің C/C_* тәуелділігі анықталды, мұндағы C_* – фотон энергиясы мен ортаның жылулық энергиясы тең болатын газ концентрациясы. Флукутациялық-диссипациялық қатынастың ықшамдалған түрі негізінде спектрдің нормаланған интенсивтілігінің ағымдағы концентрация C мен критикалық концентрация C_* қатынасына тәуелділігі алынған. Сенсордың спектрлік жауабы келесі функциямен сипатталатыны көрсетілді:

$$I(\omega) |_{I_{max}} = \tanh\left(\frac{2C}{C_*}\right),$$

бұл жүйенің мөлдірлік режимінен (аз концентрациялар) қанығу аймағына (жоғары концентрациялар) өтуін сипаттайды. C_* параметрі газдың кванттық және температуралық сипаттамалары арқылы теориялық түрде анықталып, өлшенетін сигналды физикалық тұрғыдан негізделген нормалауды қамтамасыз етеді.



2-сурет. Метан, аммиак және этанол газдары үшін қанығудың теориялық моделі

	$C < C_*$ және $C \geq C_*$ жағдайлары үшін диссипация функциясының графиктері алынды. $\tanh(2C/C_*)$ функциясы негізінде сенсордың қанығуға дейінгі және қанығу кезіндегі мінез-құлқын сипаттайтын теориялық графиктер тұрғызылды. $C < C_*$ аймағында мөлдірлік басым болатын режимге тән сызықтық-сигмоидалық тәуелділік байқалады. $C \geq C_*$ аймағында айқын бейсызықтық және сигналдың қанығуы анықталып, бұл газ молекулаларының фотондарды қарқынды жұту процестерімен сәйкес келеді. Алынған графиктер эксперименттік деректерді тексеру және концентрацияны талдау алгоритмін калибрлеу үшін пайдаланылды.
Зерттеу тобы мүшелерінің аты-жөні, идентификаторлары (Scopus Author ID, Researcher ID, ORCID, бар болса) және сәйкес профильдерге сілтемелер	Жанабаев Зейнулла Жанабаевич – Scopus Author ID: 15840905700; https://orcid.org/0000-0001-5959-2707 Иманбаева Акмарал Каримовна – Scopus Author ID: 15054326000; https://orcid.org/0000-0001-9900-9782 Ханиев Бақыт Абайұлы – Scopus Author ID: 57218681308; ORCID: 0000-0002-0103-9201 Акниязова Айгерим Жанатовна – Scopus Author ID: 59194078400; https://orcid.org/0000-0002-9185-3185 Тілеу Аян Оразбайұлы – Scopus Author ID: 57218680509; https://orcid.org/0000-0001-9965-6728 Ашимов Ескендыр Калмухамбетович – Scopus Author ID: 57694992000; https://orcid.org/0000-0002-1316-0156 Үсіпов Нұржан Мұсайыпұлы – Scopus Author ID: 57226319348; https://orcid.org/0000-0002-2512-3280 Сагидолда Ерулан – Scopus Author ID: 56465977800; https://orcid.org/0000-0002-4608-7573 Бегалы Зере Дидарқызы Туенбаев Озат Кунапьянович
Қолдану	Лазерлік сенсорлар мен флуктуациялық сигналдарды талдау әдістері өнеркәсіптік газ ортасын бақылауда, қауіпті газ концентрациясын анықтауда, апаттық жағдайларды (жарылыстар, өрттер, уланулар) алдын алуда және газ жүйелеріндегі физикалық процестерді ғылыми зерттеулерде қолданылады.
Қолданыстағы аналогтармен салыстырғандағы басымдығы	Ұсынылып отырған жоба газдық орталарды талдауға арналған сенсорлық жүйелер саласындағы қолданыстағы аналогтармен салыстырғанда бірқатар маңызды артықшылықтарға ие. Дәстүрлі әдістер негізінен оптикалық спектроскопияға және Бугер–Ламберт–Бер заңына сүйенсе, бұл жобада информациялық-энтропиялық және флуктуациялық-диссипациялық әдістерді қолдана отырып, флуктуациялық сигналдарды талдауға негізделген жаңа тәсіл ұсынылады. Негізгі артықшылықтардың бірі – спектралдық интенсивтіліктің газ концентрациясының C/C_* қатынасына нормаланған тәуелділігін пайдалану болып табылады, бұл өлшеу жүйесінің геометриялық параметрлерін өзгертпей-ақ сенсорды физикалық тұрғыдан негізделген түрде калибрлеуге мүмкіндік береді. Қолданыстағы аналогтармен салыстырғанда, ұсынылып

	отырған әдіс когерентті күй мен қанығу режимдері арасындағы өтпелі процестерді анықтауға мүмкіндік береді, бұл әсіресе төмен концентрациялар аймағында өлшеу дәлдігі мен сезімталдығын айтарлықтай арттырады. Қосымша артықшылық ретінде сенсор сигналындағы бейсызықтық, хаостық және бифуркациялық эффектілердің ескерілуін атап өтуге болады, ал бұл құбылыстар дәстүрлі тәсілдерде көбінесе назардан тыс қалады. Бұл лазерлік сәулеленудің газдық ортамен өзара әрекеттесуінің физикалық табиғатын тереңірек сипаттауға және әдістің диагностикалық мүмкіндіктерін кеңейтуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жоба сигналдарды нақты уақыт режимінде цифрлық өңдеуді және деректерді қашықтан беру мен талдау үшін IoT технологияларымен интеграциялауды қарастырады, бұл мониторингтің жеделдігін арттырып, практикалық қолдану аясын кеңейтеді. Осылайша, ұсынылып отырған тәсіл белгілі аналогтармен салыстырғанда жоғары ақпараттылықты, дәлдікті және әмбебаптылықты қамтамасыз етеді және жаңа буын лазерлік газ сенсорларын әзірлеуге ғылыми-техникалық негіз қалыптастырады.
Жарияланымдар тізімі (URL, DOI көрсетілген)	Zhanabaev Z., Akniyazova A., Ashimov Y. Information–Entropy Analysis of Stellar Evolutionary Stages with Application to FS CMa Objects //Entropy. – 2025. – V. 27. – No. 11. – p. 1106. https://doi.org/10.3390/e27111106
Патент туралы ақпарат	Қазақстан Республикасы Ұлттық зияткерлік меншік институтына пайдалы модельге патентке өтінім берілді: «Газ сенсоры сигналының концентрацияның артуына байланысты қанығуын қашықтыққа жеткізуге арналған IoT технологиясын жүзеге асыру алгоритмі» Кіріс нөмірі № 2025-92971, 26.11.2025 ж. Штрих-код № 3756112