

FTAMP 29.01.11; 29.19.31; 29.31.29; 14.25.09

DOI: <https://doi.org/10.47344/rx4xx408>Жанар Мұқаш¹, Гулжайнар Мәден², Дина Бакранова^{3*}^{1,2,3} SDU University, Қаскелең, Қазақстан*e-mail: dina.bakranova@sdu.edu.kz

ФОТОРЕЗИСТОРДЫҢ ЖАРЫҚ ҚАРҚЫНДЫЛЫҒЫНА ТӘУЕЛДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ НЕГІЗІНДЕ STEM-БАҒЫТТАЛҒАН ОҚЫТУ МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Сенсорлық технологияларды STEM білім беру үдерісінде енгізу фотоөткізгіштік құбылысын зерттеуге арналған қарапайым әрі қолжетімді тәжірибелік модельдерді қажет етеді. Фотоөткізгіштік- фоторезисторлардың жұмыс істеуінің негізгі принципі болып табылады. Зерттеудің мақсаты- фоторезистордың электрлік кедергісінің жарық қарқындылығына тәуелділігін зерттеу және осы нәтижелер негізінде STEM-бағдарланған оқыту моделін әзірлеу. Жұмыста жарыққа тәуелді резистор (LDR), реле модулі және жарықдиодты шамды қамтитын автоматты жарықтандыру жүйесінің тәжірибелік моделі құрастырылды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, жарық қарқындылығы артқан сайын фоторезистордың кедергісі азаяды, ал ток күші артып, реле іске қосылады. Бұл нәтижелер фотоөткізгіштік теориясымен сәйкес келеді. Тәжірибелік нәтижелер негізінде физикалық ұғымдарды, қарапайым инженерлік жобалауды және деректерді талдауды біріктіретін STEM оқыту моделі ұсынылды. Зерттеудің ғылыми жаңалығы- тәжірибелік зерттеуді STEM оқыту әдістерімен ұштастыруында. Ұсынылған модель оқушылардың зерттеушілік және инженерлік дағдыларындамытуға арналған қолжетімді құрал ретінде қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: фоторезистор, фотоөткізгіштік, жарық қарқындылығы, сенсорлық технология, STEM білім беру

Кіріспе

Сенсор – өлшенген деректерді анықтап, оны белгілі бір ережелерге сәйкес электрлік сигналдарға немесе басқа қажетті ақпарат шығыс түрлеріне түрлендіре алатын, деректерді беру, өңдеу, сақтау және көрсету, сондай-ақ жазу және басқару талаптарына сай келетін анықтау құрылғысы (Subramanian & David, 2021). Сенсорлар көбінесе жұмыс принципіне, кіріс деректеріне және қолдану аясына қарай жіктеледі. Оларды әртүрлі жұмыс принциптеріне сәйкес үш түрге бөлуге болады: физикалық түрі, химиялық түрі және биологиялық түрі (Tanaka, 2024). Сенсордық жіктелуі 1-суретте сипатталған.

1 сурет

Сенсорлардың жіктелуі



Физикалық сенсорлар - температура, қысым немесе қозғалыс сияқты физикалық ортадағы өзгерістерді өлшенетін электр сигналдарына түрлендіретін құрылғылар (Tanaka, 2024).

Химиялық сенсорлар химиялық құрам мен концентрация сияқты химиялық шамаларды электр сигналдарына түрлендіретін сезімтал элементтерден тұрады (Compagnone, 2017).

Биосенсорлар - организмдердегі химиялық компоненттерді анықтау және анықтау үшін әртүрлі организмдердің немесе биологиялық заттардың сипаттамаларын пайдаланып жасалған сенсорлар (Naresh & Lee, 2021).

2-суретте физикалық сенсорлардың жіктелуі көрсетілген және фоторезистор оптикалық сенсордың бір түрі ретінде қарастырылады.

2-сурет

Өлшенген физикалық шамаларға негізделген физикалық сенсорлардың жіктелуі



Физикалық сенсорлардың қолданылуы жарық ағынының өзгерістерін электрлік сигналға тиімді түрлендіру қабілетінен туындайды, бұл оны әртүрлі физикалық процестерді өлшеу, бақылау және автоматтандыру үшін пайдалы етеді.

Материалдар мен әдістер

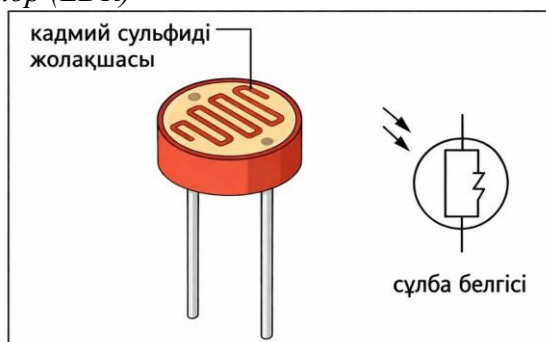
Фоторезистордың қолданылуы мен анықтамасы

Фоторезистор фотоөткізгіштік принципі бойынша жұмыс істейтін арнайы резистор түрі, кедергілік жарықтың қарқындылығына байланысты өзгереді және жарықтың қарқындылығы артқан сайын оның кедергісі төмендейді (Annas et al., 2022).

Фотрезистордің мақсаты жарық сенсоры жарық өлшегіш, автоматты көше шамы ретінде және жарыққа сезімталдық қажет аймақтарда қолданылады. LDR жарық сенсоры деп аталады. LDR әдетте 5 мм, 8 мм, 12 мм және 25 мм өлшемдерде қолжетімді. Жарыққа тәуелді резисторлар фотосезімтал жартылай өткізгіш материалдардан, мысалы кадмий сульфидтері (CdS), қорғасын сульфиді (PbS), қорғасын селениді (PbSe), индий антимониді (InSb) немесе кадмий селенидінен (CdSe) жасалады (Pan & Zhu, 2015).

3 сурет

Жарыққа тәуелді резистор (LDR)



Жарыққа тәуелді резистордың құрылымы 3-суретте сипатталған және зиг-заг пішінінің екі ұшына екі металл контакт орналастырылған, бұл металл контактілер LDR- лармен байланыс орнатуға көмектеседі. Сонымен қатар, үстіне мөлдір жабын жабылып, зиг-заг тәрізді

фотосезімтал материал қорғалады. Жабынның мөлдірлігіне байланысты LDR сыртқы ортадан түсетін жарықты қабылдағыш қасиетке ие.

LDR жұмыс істеу принципі

Фоторезистор фотоөткізгіштік принципі негізінде жұмыс істейді. Жарық фотосезімтал жартылай өткізгіш материалға түскен кезде оның фотондары материал тарапынан жұтылады (4-сурет). Егер фотон энергиясы жеткілікті болса, валенттік аймақтағы электрондар қозып, өткізгіштік аймаққа өтеді. Еркін заряд тасымалдаушылар саны артады, нәтижесінде материалдың электр өткізгіштігі өседі (Siddiqov, 2022).

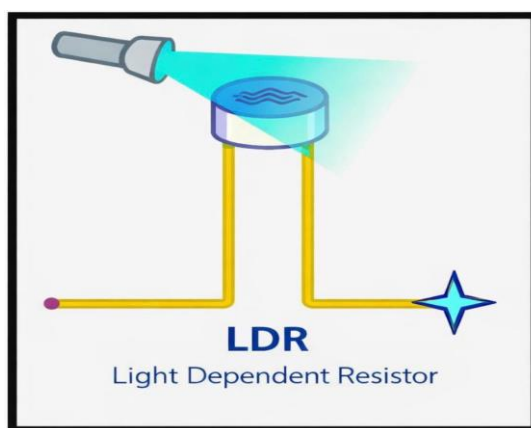
Фотон энергиясы келесі шартты қанағаттандыруы тиіс:

$$E_{\text{photon}} \geq E_g$$

мұндағы: E_g – тыйым салынған аймақ ені (валенттік және өткізгіштік аймақтар арасындағы энергия айырмасы) (Piwowarski, 2020).

4 сурет

Фоторезистордың (LDR) жұмыс істеу принципі



Фотоөткізгіштіктің физикалық түсіндірмесі

Жарық түскен кезде жартылай өткізгіште электрон-кемтік жұптары түзіледі. Электрондар өткізгіштік аймаққа өткен соң еркін қозғалып, электр тогын тасымалдай алады. Бұл процесс спонтанды емес және фотон энергиясы тыйым салынған аймақ энергиясынан кем болмауы қажет. Жарық қарқындылығы артқан сайын электрон - кемтік жұптарының концентрациясы көбейеді, сондықтан өткізгіштік артып, кедергі төмендейді (Roman-Raya et al., 2020).

Электрондық өтпелі және тыйым салынған аймақ

Электрондар электр өткізгіштігіне үлес қосу үшін өткізгіштік аймаққа өтуі керек. Өткізгіштік аймақта электрондар еркін қозғалып, электр тогын тасымалдай алады. Бұл ауысу фотон энергиясы тыйым салынған аймақ еніне тең немесе одан үлкен болған жағдайда жүзеге асады. Тыйым салынған аймақ — валенттік және өткізгіштік аймақтар арасындағы энергия айырмасы (Spagnolo, 2019).

Заряд тасымалдаушылар және өткізгіштік:

Жеткілікті жарыққа ұшырағанда, фотондардың энергиясы фотосезімтал материалдағы ковалентті байланыстарды үзіп, электрондар мен тесіктерді (оң заряд тасымалдаушы ретінде әрекет ететін электронның болмауы) босатады. Бұл босатылған электрондар мен тесіктер валенттік аралығынан өткізгіш аймаққа секіруге жеткілікті энергия жинайды.

Бұл заряд тасымалдаушылардың саны артқан сайын материалдың жалпы кедергісі азайып, өткізгіштігі артады. Заряд тасымалдаушылардың саны кедергіні азайту үшін шешуші рөл атқарады, оны келесі өрнек арқылы анықтауға болады:

$$\sigma = e(n\mu_n + p\mu_p)$$

Мұндағы:

σ — электр өткізгіштік (См/м)

e — элементар заряд

n — электрондардың концентрациясы (м^{-3})

p — кемтіктердің (holes) концентрациясы

μ_n — электрондардың қозғалғыштығы (м^{-3})

μ_p — кемтіктердің қозғалғыштығы

Ал кедергімен/ меншікті кедергімен байланысы

$$\rho = \frac{l}{\sigma}$$

LDR (фоторезистор) үшін байланыстырып жазсақ: жарық түскенде n және p артады $\rightarrow \sigma$ өседі $\rightarrow \rho$ және R азаяды (San et al., 2020).

Жарықтың қарқындылығы мен кедергі арасындағы байланыс

LDR-дегі жарық қарқындылығы мен кедергілік арасындағы байланыс кері пропорционалды. Қараңғы жағдайда LDR жоғары қарсылық көрсетеді, көбінесе мегаомдар аралығында, себебі тегін заряд тасымалдаушылардың аздығы бар. Дегенмен, жарық қарқындылығы артқан сайын, өткізгіштік аймаққа көбірек электрондар қозылып, кедергілік айтарлықтай төмендейді (5-сурет). Бұл ерекшелік LDR-ларды тиімді жарық сенсорлары ретінде жұмыс істеуге, қоршаған ортадағы жарық деңгейіне қарай кедергісін реттеуге мүмкіндік береді (Ambrosio et al., 2022). Жарық қарқындылығы мен кедергі арасындағы байланыс әдетте келесідей сипатталады:

$$R = AI^{-a}$$

Мұндағы:

R - фоторезистордың кедергісі (Ω);

I - жарықтандыру деңгейі (lux);

A - тұрақты коэффициент

a -материалға тәуелді көрсеткіш, $a > 0$.

LDR сенсорларының жалпы қолданылуы

LDR сенсорлары жарыққа сезімтал және әмбебап табиғаты арқасында әртүрлі салаларда кең қолданылады. Осы ерекше құрылғылардың ең жиі қолданылатын жерлерін қарастырайық.

Автоматты жарықтандыру жүйелері

LDR сенсорларының ең кең таралған қолданылуларының бірі - автоматты жарықтандыру жүйелерінде. Бұл жүйелер LDR схемаларын пайдаланып, қоршаған жарық деңгейін анықтап, жарықты сәйкес реттейді. Мысалы, LDR сенсорлары бар көше шамдары қараңғылық түскенде автоматты түрде қосылып, таң атқанда өшеді. Бұл тек ыңғайлылықты арттырып қана қоймай, энергияны үнемдеуге де үлес қосады.

Тұрғын және коммерциялық ортада LDR сенсорлары энергияны үнемдейтін жарық шешімдерін жасауда маңызды рөл атқарады. Олар табиғи жарық мөлшеріне байланысты ішкі шамдарды автоматты түрде күнгірттіруге немесе жарықтандыруға көмектеседі, қажетсіз энергия тұтынуды азайтады (Koteswaramma et al., 2022).

Қауіпсіздік құрылғылары

LDR сенсорлары қауіпсіздік жүйелеріне әсер етіп, оларды тиімді әрі сенімді етеді. Олар жиі ұры дабылдары мен түтін детекторларында қолданылады. Ұрлыққа қарсы дабыл

жүйелерінде LDR сенсорлары жарық деңгейінің кенет өзгеруін анықтай алады, бұл бөгде адамның бар екенін көрсетуі мүмкін. Бұл дабылды іске қосып, үйлер мен кәсіпорындардың қауіпсіздігін арттырады.

Түтін детекторлары түтін бөлшектерінен туындайтын жарықтың өзгерістерін анықтау үшін LDR сенсорларын пайдаланады. Түтін сенсорға жарықтың жетуіне кедергі болса, дабыл іске қосылады және өрт болған жағдайда ерте ескерту береді (Mistri et al., 2017).

Камера жарық өлшегіштері

Фотография әлемінде LDR сенсорлары экспозицияны басқаруды түбегейлі өзгертті. Камера жарық өлшегіштері осы сенсорларды көріністегі жарық мөлшерін өлшеу үшін пайдаланады, бұл фотографтарға мінсіз экспозицияға қол жеткізуге көмектеседі. LDR жұмыс принципі әртүрлі толқын ұзындықтарында дәл жарықты өлшеуге мүмкіндік береді, әртүрлі жарық жағдайларында кескін сапасын оңтайлы қамтамасыз етеді.

Көптеген заманауи камералар анықталған жарық деңгейіне қарай диафрагма мен ысырма жылдамдығы сияқты баптауларды автоматты түрде реттейтін күрделі LDR схемаларын қолданады. Бұл автоматтандыру фотографияны жаңадан бастаушыларға қолжетімді етіп, кәсіби мамандарға жетілдірілген құралдар ұсынды.

Қоршаған ортаны бақылау

LDR сенсорлары қоршаған ортаны бақылау саласында өте құнды болып табылады. Олар жарық деңгейінің уақыт өте келе өзгеруін бақылау үшін қолданылады, бұл әртүрлі ғылыми зерттеулер мен ауыл шаруашылығы салаларында маңызды болуы мүмкін. Мысалы, жылыжай басқаруында LDR сенсорлары жарықтың әсерін бақылауға және өсімдіктердің өсуін оңтайлы түрде бақылауға көмектеседі.

Бұл сенсорлар ауа райы станцияларында да рөл атқарады, күн сәулеленуін және күндізгі жарықтың ұзақтығын өлшеуге көмектеседі. Мұндай деректер климаттық зерттеулер мен жаңартылатын энергия қолданбалары үшін, әсіресе күн панельдерінің тиімділігін оңтайландыру үшін өте маңызды.

LDR сенсорларының әртүрлі толқын ұзындықтарына сезімталдығы оларды арнайы қоршаған ортаны бақылау тапсырмаларында өте пайдалы етеді. Мысалы, кейбір LDR сенсорлары инфрақызыл сәулеленуге көбірек жауап беруге арналған, бұл белгілі бір қоршаған ортаны бақылауға мүмкіндік береді (Birinza et al., 2005).

Зерттеу әдістемесі

Тәжірибелік модель және оны білім беру үдерісінде қолдану

Зерттеу барысында LDR негізінде автоматты жарықтандыру жүйесінің тәжірибелік моделі құрастырылды (6-сурет). 5-суретте модель құрамына жарыққа тәуелді резистор (LDR), реле модулі, жарықдиодты шам (LED), қорек көзі және тірек конструкциясы кіреді.

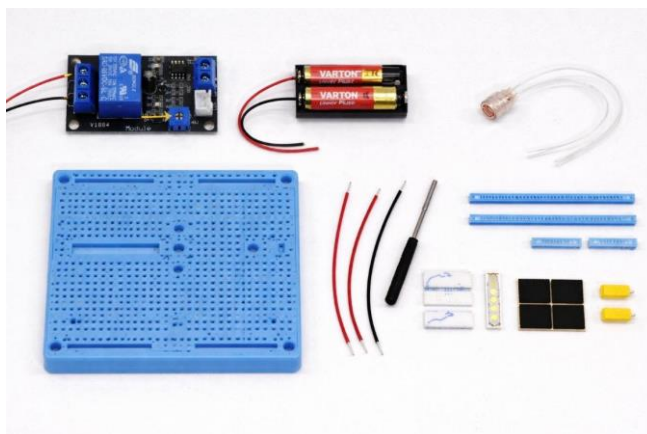
Зерттеуде CdS негізіндегі жарыққа тәуелді резистордан (LDR), LM393 компараторы бар релелік модульден, жарықдиодты шамнан (LED), қорек көзінен және тірек конструкциясынан тұратын тәжірибелік модель құрастырылды.

Тәжірибеде CdS негізіндегі GL5528 типті жарыққа тәуелді резистор (LDR) қолданылды. Қорек көзі ретінде 5В тұрақты кернеу пайдаланылып, жарық көзі ретінде қуаты 5 Вт ақ жарықдиодты шам қолданылды. Сенсор мен жарық көзі араарсындағы қашықтық 5, 20, 30 см аралығында өзгертілді. Әрбір өлшеу бірнеше рет қайталанып, орташа мән есептелінді. Қоршаған орта температура 22 ± 1 °C деңгейінде сақталды.

Модель қоршаған орта жарықтылығы өзгерген кезде жарықтандыруды автоматты басқару принципін көрсету мақсатында пайдаланылды.

5 сурет

Фоторезистор сенсоры моделінің құрамдас бөліктері



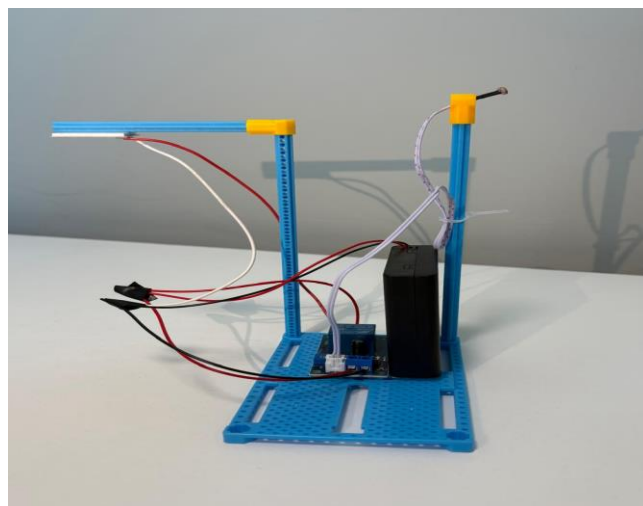
Модельдің жұмыс істеу принципі фотоөткізгіштік құбылысына негізделген. Жарық фотондары жартылай өткізгіш материалға түскен кезде, егер фотон энергиясы тыйым салынған аймақ енінен үлкен немесе тең болса (E_{photon}, E_g), валенттік аймақтағы электрондар өткізгіштік аймаққа өтеді. Нәтижесінде еркін заряд тасымалдаушылар саны артып, өткізгіштік өседі, ал кедергі төмендейді.

Жарық қарқындылығы артқанда кері процесс байқалды. Бұл жарық қарқындылығы мен кедергі арасындағы кері пропорционал байланысты тәжірибелік түрде дәлелдейді.

Тәжірибе барысында жарық деңгейі өзгерген кезде LDR сенсорының күйі бақыланды. Жарық қарқындылығы төмендеген жағдайда фоторезистордың кедергісі артып, реле іске қосылып, жарықдиодты шам жанды. Ал жарық қарқындылығы артқанда фоторезистордың кедергісі азайып, реле ажыратылып, шам сөнді. Бұл құбылыс жарық қарқындылығы мен кедергі арасындағы кері тәуелділікті сапалық түрде көрсетті.

6 сурет

LDR негізіндегі автоматты жарықтандырудың тәжірибелік моделі



Тәжірибе барысында жарық жағдайлары төрт деңгейге бөлінді: қараңғы орта, әлсіз жарық, орташа жарық және күшті жарық. Жарық деңгейінің өзгеруі фоторезистордың кедергісіне және реленің жұмыс режиміне әсері арқылы бағаланды. Әрбір бақылау үш рет қайталанып, нәтижелердің қайталанғыштығы тексерілді.

1- кестеде CdS негізіндегі LDR сенсорының техникалық сипаттамалары бойынша анықтамалық кедергі диапазондары көрсетілген. Кесте жарық қарқындылығы артқан сайын фоторезистор кедергісінің азаю тенденциясын көрсету мақсатында берілген.

1 кесте

CdS негізіндегі LDR сенсорының техникалық сипаттамалары бойынша анықтамалық кедергі диапазондары

Жарық қарқындылығы, лк	Кедергі, Ом
0	>1 МОм
10	10-50 кОм
100	2-10 кОм
500	1-5 кОм
1000	0.5-2 кОм

Нәтижелер мен талдау

Тәжірибелік модельдің жұмысын талдау кезінде зерттеу шектеулері мен ықтимал қателік көздері де ескерілді. Негізгі қателік факторларына қоршаған орта жарығының тұрақсыздығы, жарық көзінің сенсорға қатысты орналасуының өзгеруі, фоторезистор сезімталдығының ауытқуы және сыртқы жарық көздерінің әсері жатады. Әрбір бақылау үш рет қайталанып, нәтижелердің қайталанғыштығы тексерілді. аталған факторлар нәтижелердің дәлдігіне әсер етуі мүмкін болғанымен, жарық қарқындылығы мен фоторезистор кедергісі арасындағы жалпы тәуелділікті өзгертпейді.

Тәжірибе нәтижелері жарық қарқындылығы артқан сайын LDR кедергісінің азаятындығын көрсетті (7- сурет). Бұл тәуелділік жуық түрде келесі өрнекпен сипатталады:

$$R = AI^{-a}$$

Мұндағы:

R - фоторезистордың кедергісі (Ω);

I - жарықтандыру деңгейі (lux);

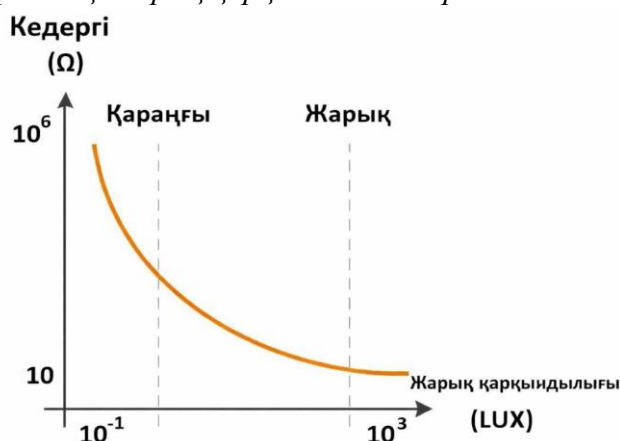
A - тұрақты коэффициент

a -материалға тәуелді көрсеткіш, $a > 0$.

Алынған нәтижелер теориялық модельмен сәйкес келеді және фотоөткізгіштік механизмін түсіндіруге мүмкіндік береді.

7 сурет

Фоторезистордың кедергісінің жарық қарқындылығы арасындағы тәуелділік



7- суреттен көрініп тұрғандай, жарық қарқындылығының артуы фоторезистор кедергісінің төмендеуіне әкеледі. Бұл фотоөткізгіштік құбылысымен түсіндіріледі: жарық фотондары жартылай өткізгіште қосымша заряд тасымалдаушыларын тудырады, нәтижесінде электрөткізгіштік артады, ал кедергі азаяды. Алынған тәуелділік автоматты жарықтандыру жүйелерінде LDR сенсорларын қолданудың физикалық негізін көрсетеді.

Оқушылардың тәжірибелік жұмысты орындау алгоритмі: Тәжірибелік жұмыс барысында оқушылар фоторезистор негізіндегі модельді пайдаланып, жарық қарқындылығының кедергі мен ток күшіне әсерін зерттейді.

Тәжірибені орындау қадамдары:

1. Модельді дайындау.

Оқушылар дайын құрастырылған модельді (6- сурет) пайдаланады. Құрылғының дұрыс жалғанғанына көз жеткізеді.

2. Қараңғы жағдайды бақылау.

Фоторезистордың беті жабылып немесе қараңғы орта жасалады. Оқушылар шамның жануын бақылайды және осы жағдайдағы шамамен кедергі мен ток күші мәндерін 1-кестеге сәйкес белгілейді.

3. Әлсіз жарық жағдайы.

Фоторезисторға әлсіз жарық (мысалы, бөлме жарығы) түсіріледі. Шамның жұмыс режимі бақыланып, кедергі мен ток күшінің өзгерісі тіркеледі.

4. Орташа жарық жағдайы.

Фоторезисторға күштірек жарық түсіріледі. Оқушылар шамның жану деңгейін, ток күшінің артуын және кедергінің азаюын бақылайды.

5. Күшті жарық жағдайы.

Фоторезисторға тікелей жарық (фонарь немесе күн сәулесі) түсіріледі. Бұл кезде шамның тұрақты жануы және ток күшінің максимал мәнге жетуі бақыланады.

Нәтижелерді талдау

Оқушылар алынған нәтижелерді 1-кестемен салыстырып, жарық қарқындылығы артқан сайын кедергінің азайып, ток күшінің артатыны туралы қорытынды жасайды.

LDR сенсорын физиканы оқытуға интеграциялаудың концептуалдық STEM-моделі

1. Модельдің жалпы идеясы

Ұсынылып отырған модель фоторезисторды (Light Dependet Resistor - LDR) нақты сенсорлық құрылғы ретінде пайдалану арқылы фотоөткізгіштік құбылысын және жартылай өткізгіштердің қасиеттерін оқытуға негізделген STEM- бағытталған оқыту моделі болып табылады. Бұл модель STEM білім берудің төрт негізгі компонентін біріктіреді:

Science (ғылым) - фотоөткізгіштің физикалық негіздерін зерттеу.

Technology (технология) - сенсорлық құрылғыларды және жарықты өлшеу технологияларын қолдану.

Engineering (инженерия) - сенсорлық электрондық жүйені жобалау және құрастыру.

Mathematics (математика) - тәжірибелік деректерді талдау және интерпретациялау.

Модельдің негізгі мақсаты - физикадағы абстрактілі теориялық ұғымдарды оқушылар шешетін практикалық инженерлік мәселеге айналдыру.

2. STEM моделінің құрылымы

Ұсынылған STEM- модель оқытудың бірізді 4 кезеңінен тұрады. Әр кезең оқушылардың білімін біртіндеп дамытып, теориялық түсініктен практикалық қолдануға дейін жеткізеді. Модельде ғылыми түсіну, технологиялық іске асыру, инженерлік жобалау және математикалық талдау кезеңдері өзара байланысты түрде ұйымдастырылады.

1- кезең: Ғылыми түсіну (Science)

Бұл кезеңде оқушылар фоторезистордың жұмыс істеуінің физикалық негіздерін зерттейді. Негізгі ұғымдар: жартылай өткізгіштердің тыйым салынған аймағы (band gap), фотон энергиясы, электрон - тесік жұптарының генерациясы, фотоөткізгіштік (photoconductivity). Бұл кезеңнің негізгі мақсаты- жартылай өткізгіштің электрөткізгіштігінің жарық қарқындылығына тәуелділігі туралы концептуалдық түсінік қалыптастыру.

2-кезең: Технологиялық іске асыру (Technology)

Бұл кезеңде оқушылар сенсорлық технологиямен танысады және фоторезистордың нақты құрылымында қалай қолданылатынын зерттейді. Қарастырылатын негізі ұғымдар: LDR құрылымы, жартылай электрлік сигналға т.рлендіру принципі, сенсорлық жүйенің электрлік схемасы. Оқушылар: LDR, резистор, қорек көзі, LED-тен тұратын қарапайым электр тізбегін құрастырады. Бұл тәжірибе арқылы оқушылар физикалық құбылыстың нақты сенсорлық құрылымында қалай жүзеге асатынын көре алады.

3- кезең: Инженерлік жобалау (Engineering)

Бұл кезеңде оқушылар инженерлік мәселені шешу арқылы алған білімдерін тәжірибеде қолданады. Оқушыларға автоматты жарықтандыру жүйесін жобалау ұсынылады: Жобаның мақсаты жарық деңгейіне байланысты жұмыс істейтін құрылғы жасау. Олар: жарық азайғанда шам автоматты түрде қосылады, жарық көбейгенде шам автоматты түрде өшеді. Ол үшін оқушылар LDR сенсорын пайдаланып электр тізбегін жинайды, жұмыс істеу шегін реттейді, жүйені әртүрлі жарық деңгейінде тестілейді. Осы кезеңде оқушылардың инженерлік ойлауы, жүйелік жобалау дағдылары, электрондық құрылғыларды құрастыру қабілеті дамиды.

4- кезең: Математикалық талдау (Mathematics)

Соңғы кезеңде оқушылар тәжірибе барысында алынған деректергеталдау жасайды.

Келесі: жарықтану деңгейін, LDR фоторезисторының кедергісін өлшейді және алынған мәндер бойынша тәуелділік графигін тұрғызады.

Негізгі тәуелділік:

$$R = f(I)$$

мұнда:

R – фоторезистордың кедергісі

I – жарықтану деңгейі

Кейін тәжірибелік деректерге аппроксимация жасалады.

$$R = AI^{-\alpha}$$

Бұл кезеңде оқушыларда келесі дағдылар қалыптасады: тәжірибелік деректерді өңдеу, графиктер құру, физикалық процестерді математикалық модельдеу. Модельдің білім беру нәтижелері бірнеше түрлі құзіреттердің қалыптасуына мүмкіндік береді.

Ғылыми дағдылар ретінде фотоөткізгіштік құбылысын түсіну, жартылай өткізгіштердің зоналық құрлымын түсіну, физикалық теория мен тәжірибе арасындағы байланысты түсіну.

Инженерлік дағдылар ретінде электрондық схеманы құрастыру, сенсорлық жүйені жобалау, құрылғының жұмысын тестілеу.

Математикалық дағдылар ретінде тәжірибелік деректерді өңдеу, тәуелділік гарфигін құру, нәтижелерді интерпретациялау.

STEM- жалпы бағыты бойынша зерттеуші ретінде ойлау, пәнаралық талдау, практикалық мәселелерді шешу дағдылары. Сондықтан, ұсынылған модель оқушылардың ғылыми білімін, инженерлік дағдыларын және математикалық талдау қабілеттерін кешенді түрде дамытуға бағытталған.

Модельдің педагогикалық маңызы

Ұсынылған модель мектептегі физика курсының теориялық бөлімдерін өзара байланыстыруға мүмкіндік береді. Атап айтқанда:кванттық физика, жартылай өткізгіштер физикасы, электр тізбектері. Бұл теориялық тақырыптар сенсорлық технологиялардың практикалық инженерлік қолдануларымен біріктіріледі. Нақты сенсорлық құрылғыны (LDR) қолдану физикалық құбылыстарды оқытуды көрнекі әрі түсінікті етеді, сондай-ақ оқушылардың: зерттеу дағдыларын, жобалау қабілеттерін, тәжірибелік жұмыс жасау дағдыларын дамытуға ықпал етеді.

Жалпылай алғанда, LDR негізіндегі этәжірибелік модель физиканы STEM- бағытында оқытуға арналған тиімді құрал ретінде қарастырылуы мүмкін.

Қорытынды

Бұл зерттеуде жарыққа тәуелді резистордың (LDR) физикалық негіздері мен жұмыс істеу принципі қарастырылды. Фотоөткізгіштік құбылысы фотон энергиясының тыйым салынған аймақ енінен үлкен немесе тең болуы шартымен (E_{photon}, E_g) түсіндірілді. Жарық қарқындылығы артқан сайын жартылай өткізгіштің өткізгіштігі өсіп, кедергісі азаятындығы теориялық және тәжірибелік түрде негізделді.

Жарық қарқындылығы мен кедергі арасындағы тәуелділік $R = AI^{-a}$ өрнегі арқылы сипатталып, бұл заңдылық тәжірибелік модель арқылы көрсетілді. Қарастырылған модель LDR сенсорының жұмысын көрнекі түрде түсіндіруге және оны орта білім оқышыларына физика курсына “Жартылай өткізгіштер” және “Кванттық физика” бөлімдерінде қолдануға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелер фоторезистордың фотоөткізгіштік механизмімен толық сәйкес келеді. Жарық қарқындылығы артқан сайын фотондар саны көбейеді, жартылай өткізгіш материалда электронөкемтік жұптарының генерациясы артады. Соның әсерінен нәтижесінде еркін заряд тасымалдаушылар концентрациясы жоғарылайды, электрөткізгіштік өседі. Бұл құбылыс LDR сенсорларын автоматты жарықтандыру, қауіпсіздік жүйелері және жарық мониторингі құрылғандарында кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

Ұсынылған модель фотоөткізгіштік құбылысын түсіндірумен қатар, оқушылардық зерттеушілік, инженерлік және деректерді талдау дағдыларын дамытуға мүмкіндік береді. Сондықтан бұл модельді STEM бағытталған физика сабақтарында қолдану тиімді деп есептелінеді.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

- Annas, M.A., Widodo, A., Aisiyah, M. C., Ningrum, I. E., & Makrufah, D. (2022). Karakterisasi sensor cahaya light dependent resistor (LDR). *MASALIQ: Jurnal Pendidikan dan Sains*, 2(4), 612-622. <https://ejournal.yasin-alsys.org/index.php/masaliq>
- Ambrosio, B. J. C., Simon, N. Z., & Hermosa, N. P. (2022). Characterizing a light dependent resistor (LDR) response to a laser diode using Malus' law. *Proceedings of the Samahang Pisika ng Pilipinas Physics Conference*. [Characterizing-a-light-dependent-resistor-LDR-response-to-a-laser-diode-using-Malus-Law.pdf](#)
- Brinza, M., Willekens, J., Benkhedir, M. L., & Emelianova, E. V. (2005). Photoconductivity methods in materials reserch. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 16(11), 703-713. https://doi.org/10.1007/s10854-005-49727?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle
- Compagnone, D. (2017). Chemical sensors and biosensors in Italy: A review of the last decade. *Sensors*, 17(6). <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5424745/>
- Koteswaramma, N., Navya, A., Singh, P., Rajeshwari, T., & Mounika, B. (2022). Automatic street light controlling Arduino system using LDR. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. https://www.researchgate.net/publication/363335279_AUTOMATIC_STREET_LIGHT_CONTROLLING_ARDUINO_SYSTEM_USING_LDR
- Mistri, R., Singh, K., Gautam, S., Kumar, N., & Soreng, H. (2017). Electronic eye controlled security system using LDR. *International Journal of Scientific and Applied Research and Technology*. (PDF) [LDR арқылы электронды көзбен басқарылатын қауіпсіздік жүйесі](#)
- Naresh, V., & Lee, N. (2021). A review on biosensors and recent development of nanostructured materials-enabled biosensors. *Sensors*, 21(4), 1109. <https://doi.org/10.3390/s21041109>
- Pan A., Zhu X. (2015). Optoelectronic properties of semiconductor nanowires. In *Semiconductor Nanowires: Materials, Synthesis, Characterization and Application*. (pp.327-363). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-253-2.00012-8>
- Piwowski, K. (2020). Comparison of photoconductive semiconductor switch parameters with

selected switch devices in power systems. *Opto-Electronics Review*, 28(1), 74-81.

<https://doi.org/10.24425/opelre.2020.132502>

Román-Raya, J., Ruiz-García, I., Escobedo, P., Palma, A. J., Guirado, D., & Carvajal, M. A. (2020). Light-dependent resistors as dosimetric sensors in radiotherapy. *Sensors*, 20(6), 1568.

<https://doi.org/10.3390/s20061568>

San, M., Mar, K. T., & Win, C. K. (2020). Automatic light control system using Arduino UNO and LDR sensor. *International Journal of Scientific Reserch and Engineering Development*, 3(2), 806-809. [Automatic Light Control System Using Arduino UNO and LDR Sensor](#)

Sidiqov, B. M. (2022). Light dependent resistor and its applications. *Zenodo*.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6913430>

Spagnolo, G. S. (2019). A simple tool to demonstrate photoelectric effect. *Crystals*, 9(10), 531.

<https://doi.org/10.3390/cryst9100531>

Subramanian, P., & Alwin David, S. (2021)7 Sensors – An overview. *international Conference on Multidisciplinary Research and innovative Practices, J. S. University*. [Sensors-An-Overview.pdf](#)

Tanaka, Y. (2024). Recent advancements in physical and chemical MEMS sensors. *Analyst*, 149(13), 3498-3512. <https://DOI,10.1039/d4an00182f>

References

Annas, M.A., Widodo, A., Aisiyah, M. C., Ningrum, I. E., & Makrufah, D. (2022). Karakterisasi sensor cahaya light dependent resistor (LDR). *MASALIQ: Jurnal Pendidikan dan Sains*, 2(4), 612-622. <https://ejournal.yasin-alsys.org/index.php/masaliq>

Ambrosio, B. J. C., Simon, N. Z., & Hermosa, N. P. (2022). Characterizing a light dependent resistor (LDR) response to a laser diode using Malus' law. *Proceedings of the Samahang Pisika ng Pilipinas Physics Conference*. [Characterizing-a-light-dependent-resistor-LDR-response-to-a-laser-diode-using-Malus-Law.pdf](#)

Brinza, M., Willekens, J., Benkhedir, M. L., & Emelianova, E. V. (2005). Photoconductivity methods in materials reserch. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 16(11), 703-713.

[https://doi.org/10.1007/s10854-005-](https://doi.org/10.1007/s10854-005-49727?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle)

[49727?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle](https://doi.org/10.1007/s10854-005-49727?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle)

Compagnone, D. (2017). Chemical sensors and biosensors in Italy: A review of the last decade.

Sensors, 17(6). <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5424745/>

Koteswaramma, N., Navya, A., Singh, P., Rajeshwari, T., & Mounika, B. (2022). Automatic street light controlling Arduino system using LDR. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*.

https://www.researchgate.net/publication/363335279_AUTOMATIC_STREET_LIGHT_CONTROLLING_ARDUINO_SYSTEM_USING_LDR

Mistri, R., Singh, K., Gautam, S., Kumar, N., & Soreng, H. (2017). Electronic eye controlled security system using LDR. *International Journal of Scientific and Applied Research and Technology*. (PDF) [LDR арқылы электронды көзбен басқарылатын қауіпсіздік жүйесі](#)

Naresh, V., & Lee, N. (2021). A review on biosensors and recent development of nanostructured materials-enabled biosensors. *Sensors*, 21(4), 1109. <https://doi.org/10.3390/s21041109>

Pan A., Zhu X. (2015). Optoelectronic properties of semiconductor nanowires. In *Semiconductor Nanowires: Materials, Synthesis, Characterization and Application*. (pp.327-363).

Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-253-2.00012-8>

Piwoarski, K. (2020). Comparison of photoconductive semiconductor switch parameters with selected switch devices in power systems. *Opto-Electronics Review*, 28(1), 74-81.

<https://doi.org/10.24425/opelre.2020.132502>

Román-Raya, J., Ruiz-García, I., Escobedo, P., Palma, A. J., Guirado, D., & Carvajal, M. A. (2020).

Light-dependent resistors as dosimetric sensors in radiotherapy. *Sensors*, 20(6), 1568.

<https://doi.org/10.3390/s20061568>

San, M., Mar, K. T., & Win, C. K. (2020). Automatic light control system using Arduino UNO and LDR sensor. *International Journal of Scientific Reserch and Engineering Development*, 3(2), 806-809. [Automatic Light Control System Using Arduino UNO and LDR Sensor](#)

Sidiqov, B. M. (2022). Light dependent resistor and its applications. *Zenodo*.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6913430>

Spagnolo, G. S. (2019). A simple tool to demonstrate photoelectric effect. *Crystals*, 9(10), 531.

<https://doi.org/10.3390/cryst9100531>

Subramanian, P., & Alwin David, S. (2021)7 Sensors – An overview. *international Conference on Multidisciplinary Research and innovative Practices, J. S. University*. [Sensors-An-Overview.pdf](#)

Tanaka, Y. (2024). Recent advancements in physical and chemical MEMS sensors. *Analyst*, 149(13), 3498-3512. <https://DOI,10.1039/d4an00182f>

Жанар Мукаш¹, Гулжайнар Маден², Дина Бакранова^{3*}

^{1,2,3}SDU University, Каскелен, Казахстан

*e-mail:dina.bakranova@sdu.edu.kz

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛИКА ФОТОРЕЗИСТОРА НА ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В STEM

Аннотация. Интеграция сенсорных технологий в STEM-образование требует разработки простых и доступных экспериментальных моделей для изучения фотопроводимости - ключевого явления лежащего в основе работы фоторезисторов. Целью данного исследования является изучение зависимости электрического сопротивления фоторезистора от интенсивности света и разработка на этой основе STEM-ориентированной модели обучения. В работе разработана экспериментальная модель автоматизированной системы освещения, включающая фоторезистор (LDR), релейный модуль и светодиодный источник света. Результаты показали, что с увеличением освещенности сопротивление фоторезистора уменьшается, при этом возрастает сила тока и срабатывает реле. Полученные результаты соответствуют теории фотопроводимости. На основе экспериментальных данных предложена STEM- модель обучения, объединяющая физические понятия, элементы инженерного проектирования и анализ данных. Научная новизна заключается в сочетании экспериментального исследования с методами STEM-обучения. Практическая значимость определяется возможностью использования модели как доступного и эффективного инструмента для развития исследовательских и инженерных навыков обучающихся.

Ключевые слова: фоторезистор, фотопроводимость, интенсивность света, сенсорные технологии, STEM-образование

Zhanar Mukash¹, Gulzhainar Maden², Dina Bakranova^{3*}

^{1,2,3}SDU University, Kaskelen, Kazakhstan

*e-mail:dina.bakranova@sdu.edu.kz

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PHOTORESISTOR RESPONSE TO LIGHT INTENSITY WITH APPLICATIONS IN STEM

Abstract. The integration of sensor technologies into STEM education requires simple and accessible experimental models for studying photoconductivity, which is the key principle behind

photoresistors. The aim of this study is to investigate how the electrical resistance of a photoresistor depends on light intensity and to develop a STEM-based learning model based on these results. An experimental model of an automated lighting system was developed, including a light-dependent resistor (LDR), a relay module, and an LED light source. The results show that as light intensity increases, the resistance of the photoresistor decreases, while the current increases and the relay is activated. These results are consistent with the theory of photoconductivity. Based on the experimental results, a STEM learning model is proposed that combines physical concepts, basic engineering design, and data analysis. The novelty of the study lies in combining experimental work with STEM teaching methods. The proposed model can be used as an affordable and practical tool to develop students' research and engineering skills.

Keywords: photoresistor, photoconductivity, light intensity, sensor technologies, STEM education

Келін түсті 18 Сәуір 2026