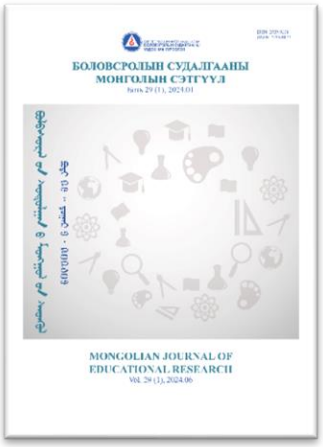


https://journal.mnier.mn

Физикийн е-лаборатори бүтээхэд VR технологи ашиглах нь (Фото цахилгааны үзэгдлийн жишээн дээр)

Төртогтох Уламбаяр
Монгол Улсын Боловсролын Их Сургууль

Пүрэвдагва Энхцэцэг
Хөдөө Аж Ахуйн Их Сургууль

Ойдов Лхагва
Монгол Улсын Их Сургууль

Санал болгож буй эшлэл:

Уламбаяр, Т., Энхцэцэг, П., Лхагва, О. (2026). Физикийн е-лабораторий бүтээхэд VR технологи ашиглах нь (Фото цахилгааны үзэгдлийн жишээн дээр). *Боловсролын судалгааны Монголын сэтгүүл*, https://doi.org/10.56380/mjer.si.2026.05-11

Using VR technology to create a physics e-laboratory

Ulambayar Turtogtokh
Mongolian national university of education

Enkhtsetseg Purevdagva
Mongolian University of Life Sciences

Lkhagva Oidov
National University of Mongolia

To cite this article:
Turtogtokh, U., Enkhtsetseg, P., Oidov, L. (2026). Using VR technology to create a physics e-laboratory. *Mongolian Journal of Educational Research*, https://doi.org/10.56380/mjer.si.2026.05-11

The International Journal of Studies in Education and Science (IJSES) is a peer-reviewed scholarly online journal. This article may be used for research, teaching, and private study purposes. Authors alone are responsible for the contents of their articles. The journal owns the copyright of the articles. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand, or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of the research material. All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations regarding the submitted work.

This is an open access article under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Боловсролын судалгааны Монголын сэтгүүл MJER
2026, Special Issue https://doi.org/10.56380/mjer.si.2026.05-11

Физикийн е-лаборатори бүтээхэд VR технологи ашиглах нь (Фотоцахилгааны үзэгдлийн жишээн дээр)

Төртогтох Уламбаяр, Пүрэвдагва Энхцэцэг, Ойдов Лхагва

Өгүүллийн мэдээлэл

Түүх:
Хүлээн авсан: 2026.04.01
Засаж сайжруулсан: 2026.04.15
Хэвлэхийг зөвшөөрсөн: 2026.11.02

Түлхүүр үг:
Физик сургалт
VR лаборатори
Виртуаль лаборатори
Фотоэффект
Фотоцахилгааны үзэгдэл

ХУРААНГУЙ

Орчин үеийн физик сургалтад мэдээлллийн технологийн шинэ ололт нээлтүүдийг нэвтрүүлэн хэрэглэх нь зайлшгүй шаардлага бий болоод байна. Мөн байгалийн ухааны хичээлийг сонгон суралцах суралцагчдын тоо цөөрсөн талаар сүүлийн хэдэн жил яригдаж, бодлого болон хэрэгжиж байгаа ч тодорхой үр дүн гарахгүй байна. Энэ асуудлыг шийдвэрлэх нэг арга бол тухайн шинжлэх ухааныг сонирхолтой орчин үеийн технологитой хослуулан хэрэглэх юм. Иймээс физик сургалтад VR технологийг хэрэглэн туршилтын хичээл хийх нь орчин үед суралцагчдын сурах идэвхийг нэмэгдүүлэх, физикийг сонирхон судлах суралцагчдын тоог олон болгох боломж бүрдүүлнэ. Энэхүү ажилд фотоэффектийн үзэгдлийн VR лабораторийг анхлан боловсруулан танилцуулж байна. Энэхүү лабораторийн ажил нь web болон VR хэлбэрээр ажиллана. Фотоэффектийн үзэгдлийн дотоод процессийг суралцагчид нүдээр харж гараар ажиллахад тэдний сонирхол болоод мэдлэг бүтээл үйл идэвхжинэ.
VR хэлбэрт оруулан суралцагчид тухайн физик үзэгдлийг судална. Уг ажилд физикийн үндсэн тогтмолуудын нэг болох Планкын тогтмолыг тодорхойлно. Мөн металлын шинж чанараас хамаарах гарахын ажил, улаан хилийн давтамж, улаан хилийн долгионы уртыг судална. Цаашилбал электроны масс, фотоны энерги гэх мэтээр өргөжүүлэн хэрэглэж болно.

Холбоо барих зохиогч:
Пүрэвдагвын Энхцэцэг
Физик математикийн тэнхим, Хөдөө Аж Ахуйн Их сургууль
Email: enkhtsetseg@muls.edu.mn

Using VR technology to create a physics e-laboratory

Ulambayar Turtogtokh, Enkhtsetseg Purevdagva, Lkhagva Oidov

Article information

Article history:
Received: 04.01.2026
Revised: 04.15.2026
Accepted: 11.02.2026

Keywords:
Physics learning
VR laboratory
Virtual laboratory
Photoeffect
Photoelectric effect

ABSTRACT

Modern physics education has reached a stage where it is essential to integrate recent advances in information technology. In recent years, there has been ongoing discussion and policy implementation regarding the declining number of students choosing natural science subjects; however, it is true that these efforts have not yet yielded clear results.

One effective way to address this issue is to combine scientific education with engaging, modern technologies. Therefore, using VR technology in physics education, particularly for conducting experimental lessons, can increase students' motivation to learn and encourage more learners to take an interest in studying physics.

This study presents the initial development of a VR laboratory based on the Photoelectric Effect. The laboratory operates in both web-based and VR formats. By enabling students to visually observe and interact with the internal processes of the photoelectric effect, it enhances their interest, understanding, and active participation in learning. Through the VR environment, students can explore this physical phenomenon in an immersive way. In this work, one of the fundamental constants of physics, the Planck Constant, is determined.

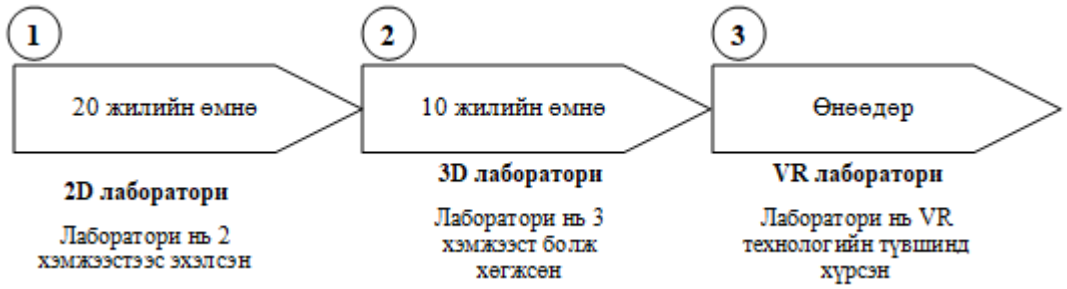
In addition, properties dependent on the material, such as the work function, threshold frequency, and threshold wavelength, are studied. Furthermore, the laboratory can be extended to include concepts such as electron mass and photon energy.

Corresponding author:
Enkhtsetseg Purevdagva
Mongolian University of Life Sciences, Department of physics and mathematics
Email: enkhtsetseg@muls.edu.mn

УДИРТГАЛ

Мэдээллийн технологийн салбарын ололт амжилт, ахиц дэвшил, хөгжил нь үйлдвэрлэл, бизнес, шинжлэх ухаан, нийгмийн амьдралын салбарын мэдээллийн бүрэлдэхүүн хэсэгт чанарын өөрчлөлтийг авчирсан. Мэдээллийн технологийн хөгжил нь амьдралын олон салбарт хүний чадавх, бүтээмжийг нэмэгдүүлсэн. Тиймээс боловсролын салбарт компьютерын технологийг ашиглах нь зайлшгүй шаардлага юм (Olena Tsvetkova et al. CEUR Workshop Proceedings).

Бидний хийж буй лаборатори нь анх 20 гариу жилийн өмнөөс 2 хэмжээстээс эхлэн 3 хэмжээст болж хөгжсөөр өдгөө VR болон хөгжиж байна (Enkhtsetseg et al, 2012).



Зураг 1. е-лабраоторийн хөгжил

Виртуал лабораторийг ашиглах үндсэн чиглэл бол бодит туршилт хийх нь эрүүл мэндэд аюултай эсвэл эдийн засгийн хувьд хэтэрхий үнэтэй тохиолдолд виртуаль лабораторид биечлэн ажиллах, зайн сургалт хийх, шаардлагатай тооцоолол, дүн шинжилгээг хийх, оюутан лабораторийн ажлыг бүрэн бие даан гүйцэтгэх ба энэ үед багш чиглүүлэн удирдана. Физикийн шинжлэх ухааныг судлах үндсэн аргын нэг бол лабораторийн хичээл бөгөөд энэ нь мэдлэг, ур чадварын тогтолцоог бүрдүүлэхэд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Бидний дэвшүүлж буй цахим лабораторийг физик хуулийн математик тэгшитгэл буюу үзэгдэл хувирлын эх хөврөлөөс нь төлжүүлэн бүтээсэн. Байгалийн зүй тогтлыг эрин цагийн шинжлэх ухааны аргаар бүтээсэн юм.

VR лаборатори нь зохиомол 3D орчинд лабораторийн туршилтыг янз бүрийн нөхцөлд, олон дахин, хямд өртгөөр, аюулгүй хийх боломж олгодог дижитал систем юм. Хэрэглэгч VR нүдний шил болон удирдлага ашиглан бодит лабораторид байгаа мэт орчинд туршилт, ажиглалт хийж, үр дүнг судалдаг. Физикийн хувьд цахилгаан орон, соронзон орон, долгионы тархалт зэрэг нүдэнд үл үзэгдэх хийсвэр ойлголтыг харагдахуйц ойлгомжтой болгоно (Oliver et al, 2022). Мөн өндөр хүчдэл, хүнд төхөөрөмж, аюултай орчин шаарддаг эрсдэлтэй туршилтыг VR зохиомол орчинд эрсдэлгүйгээр туршиж болно. Бодит лабораторид тоног төхөөрөмж, хугацаа хязгаарлагдмал байдаг бол VR зохиомол орчинд хүссэнээрээ олон дахин туршиж, алдаагаа засах боломжтой. Багаж, төхөөрөмж авах шаардлагагүй, эвдрэл элэгдэлгүй болж зардал хэмнэнэ (Anton et al, 2021).

Виртуаль лаборатори бүтээх явц

Төлөвлөгөө гаргах, шаардлага тодорхойлох- Тухайн физик үзэгдлийн хөдөлгөөн хувирал аль хэсэгт хэрхэн тодорч харагдах зэргийг нарийн төлөвлөнө. Программчлалын ямар хэл ашиглах, нэмэлт ямар хэрэгслийг ашиглахаа ч товлоно.

Математик загвар, хувиргалт- Биежил дүрс бүтээх, хөдөлгөхөд шаардлагатай математик загвар үүсгэнэ. Дүрсийг бүтээх геометр болон өнгөлөх, бүрэх, будах зэрэг олон үйлдэл ч энд хамаарна.

Программчлах- Программыг бүтээх физик, математик, программчлалын жолоодлогын хэлхээсийг нарийн гаргасны дараа аль нэгэн хэлнээ буулган программ бичнэ (Jos Dirksen, 2018).

Туршиж засварлах- Программ алдаагүй ажиллаад загвар лаборатори ажиллаж эхлэхэд бүтээсэн загвар лабораторийн найдвартай ажиллагааг хөндлөнгийн мэргэжилтний хяналтад оруулан нягтлан шалгана. Хяналтын дараа лабораторийнн ажлын шалгуурыг дахин хийж хэрэглэхэд бэлтгэнэ.

Заавар сэлт бэлтгэх- Бэлэн болсон загвар лабораторийг ашиглах заавар, сэлтийг бэлтгэнэ. Тэгэхдээ багш, суралцагчид хэрхэн ашиглах, туршилт хэрхэн үйлдэх зааврыг нарийн тодорхойлж бичнэ. Мөн багшид загвар лабораторийг ашиглан хичээлийг хэрхэн хөтлөн чиглүүлэх заавар оруулна.



Зураг 2. Программ хангамж хөгжүүлэх цикл

ҮР ДҮН

Фотоцахилгааны үзэгдлийг судлах виртуаль лабораторийн ажилллах өрөөнд ширээн дээр байрласан туршилт хийхэд бэлтгэсэн багаж байх ба үүнд шилэн хоолой түүн дотор байрлах элэктродууд, амперметр, катодыг шарах тохируулга бүхий гэрэл, батарей, ахин эхлүүлэх товч зэргээс бүрдэнэ (Giuseppe et al., 2019). VR камер хэрэглэх үед эдгээрийг шууд удирдана. Харин компьютортой ажиллах үед дэлгэцийн баруун талын цонхон дахь удирдлагын товчнуудыг ашиглана.

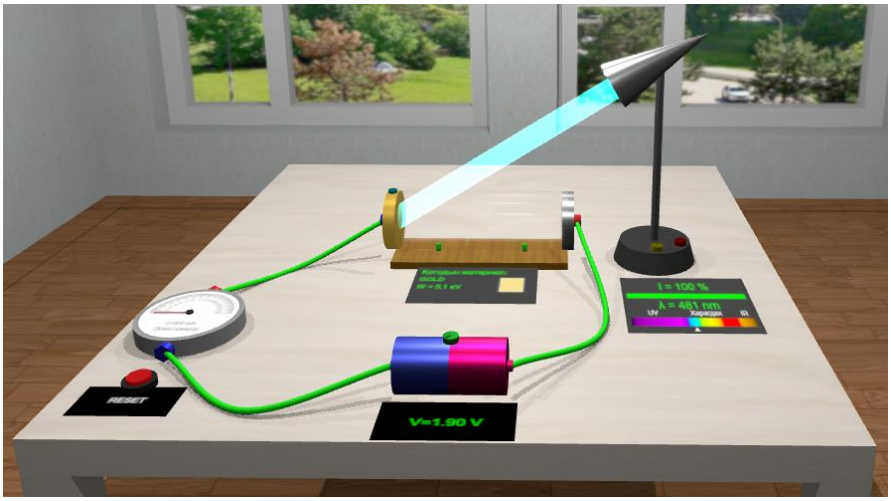


Зураг 3. VR камер ашиглан туршилт хийж буй байдал



Зураг 4. Фотоцахилгааны үзэгдлийг судлах лабораторийн веб хэлбэрээр ажиллах талбар

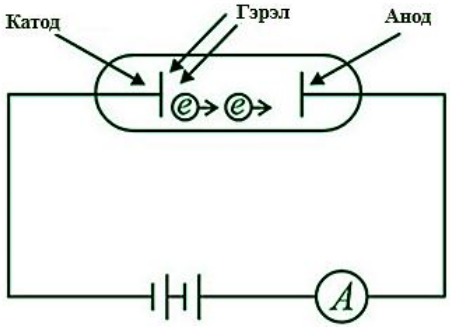
Дэлгэцийн баруун дээд буланд байрлах хэсгээс хулганаар удирдана.



Зураг 5. Фотоцахилгааны үзэгдлийг судлах лабораторийн VR хэлбэрээр ажиллах өрөөний харагдах байдал

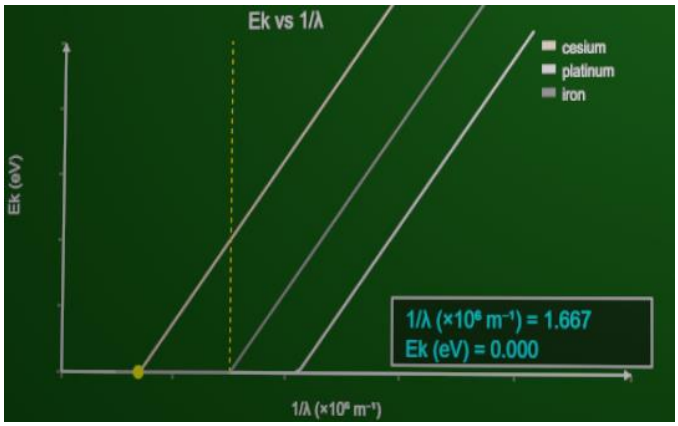
Гарын хөдөлгөөнөөр болон заагчийн тусламжтай удирдана.

Туршилт 1. Улаан хил: Катодын материалыг сонгоод долгионы уртыг өөрчлөн хэмжилтийг хийнэ. Тухайн багаж дээр долгионы урт 800 нм хэмжээнээс эхэлнэ. Долгионы уртын их утгад электроны урсгал буюу цахилгаан гүйдэл үүсэхгүй байгааг анхааралтай ажиглана. Тэгээд тодорхой долгионы уртаас гүйдэл гүйж байгааг ажиглана.



Зураг 6. Фотоцахилгааны үзэгдлийг судлах лабораторийн цахилгаан хэлхээний ерөнхий схем.

Улаан хил хэмээн нэрлэдэг долгионы урт болон давтамжийн утгыг хэмжилтээр тодорхойлно.



Зураг 7. Электроны кинетик энерги долгионы уртын урвуугаас хамаарах хамаарал

Долгионы урт улаан хилээс их байхад электрон сугарч, гүйдэл гүйхгүй учир кинетик энерги нь тэг байна. Гарахын ажил катодын материалаас хамааран өөр байна. Улаан хилийн долгионы урт болон давтамжийг тодорхойлох хэмжилтийг суралцагчид өөрсдөө гүйцэтгэж, тооцоолно (Хүснэгт 1). Баримтаа тойруулан хэлэлцсээр

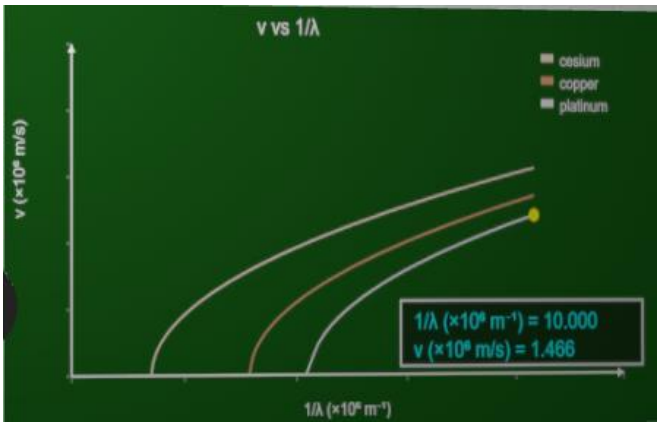
$$h\nu_0 = W \qquad (1)$$

томьёог гаргаад $\lambda_0 \prec \lambda$ ба $\nu \prec \nu_0$ үед гүйдэл үүсэхгүй байгаагийн физик учрыг ойлгож, дүгнэлт хийнэ (Jinwoong.S., 2020). Фотоны энерги $h\nu$ электроныг атомын кулоны орноос салгахад хүрэлцэхгүй байгааг суралцагчид өөрсдөө гаргана.

Хүснэгт 1. Туршилт-1-ийн утгууд

№	Катодын материалын нэр	Долгионы урт λ (нм)	Давтамж ν (10^{15})	Гарахын ажил W (эВ)	$E = h\nu$ (эВ)	$T = E - W$ (эВ)	Долгионы урт λ_0 (нм)	Давтамж ν_0 (10^{15}Гц)
1		750	0.4		1.67	-0.43		
2	Цези	695	0.43	2.1	1.78	-0.32	591	0.5
3		594	0.5		2.07	-0.03		
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Туршилт 2. Сугарсан электроны кинетик энерги: Фотоны долгионы урт $\lambda_0 \succ \lambda$ ба давтамж $\nu \geq \nu_0$ байхад электрон атомын кулоны орноос суллагдан хэлхээнд залгасан потенциалын ялгаврын үйлчлэлээр цахилгаан гүйдэл үүсэж байгааг ажиглаж тогтооно. Тэгээд электроны кинетик энергийг давтамжаас хамааруулан хэмжинэ (Хүснэгт 2).



Зураг 8. Долгионы урт улаан хилээс бага байхад сугарсан электроны хурд долгионы уртын урвуугаас хамаарах хамаарал.

Фотоны давтамж ихсэхэд электроны кинетик энерги, хурд нэмэгдэж байгааг туршилтаар олж туршилт, тооцооны дүнг дараах хүснэгтэд өрнө.

Хүснэгт 2. Туршилт 2-ын утгууд

№	Катодын материалын нэр	Долгионы урт λ (нм)	Давтамж ν (10^{15})	Гарахын ажил W (эВ)	$E = h\nu$ (эВ)	Хурд 10^5м/с	$T = E - W$ (эВ)
1		232	1.29		5.34	2.95	0.247
2		205	1.46	5.1	6.04	5.79	0.951
3	Алт	113	2.65		10.96	14.38	5.878
...	...	...	...	...	...		...

Туршилт болон тооцооны дүн баримтыг тойруулан мэтгэлцээд Эйнштейний тэгшитгэлийг гаргана. Тоон баримтыг цэгнэхэд ерөнхий тохиолдолд:

$$E_1 \sim T_1$$

$$E_2 \sim T_2$$

……..

$$E_n \sim T_n$$

$$E_n - T_n = \Delta E = const$$

Тоон утгаас харахад:

$$\Delta E = \mathrm{W}$$

Тэгэхээр: $E - T = \Delta E = W$

$$E = \mathrm{W} + \mathrm{T} \qquad (2)$$

Мөн сугарсан электроны массыг тодорхойлно.

Туршилт 3. Планкийн тогтмолыг тодорхойлох: Өөрсдийнхөө хэд хэдэн элемент дээр хэмжсэн дүнг (Хүснэгт 2) ашиглан график байгуулж, кинетик энерги давтамжаас шулуун шугаман хамааралтай байгааг харуулна. Зураг 6-д харуулсан сугарсан электроны кинетик энерги ба долгионы уртын урвуугаас хамаарах хамаарал нь давтамжийн хамааралд шилжинэ. Өөр өөр металл дээр шулууны өнцгийн коэффициент нь Планкийн тогтмол $h = 6.626 * 10^{-34}$ Ж · с болохыг нотлох тооцоо хийе. Дээрх (2) томьёоноос харвал кинетик энерги T болон давтамж хоёр шулуун шугаман хамааралтай буюу

$$T(\nu) = -W + h \cdot \nu \qquad (3)$$

Эл шулууны налалтын өнцгийн коэфициент:

$$h = \frac{T+W}{\nu} \qquad (4)$$

Энэхүү (4) томьёог хэрэглэн h коэфициентийг дүнг доорх хүснэгт 4-д өржээ. Үнэхээр шулууны налалтын өнцгийн коэфициент нь Планкийн h тогтмлын утга болох нь батлагдлаа.

Хүснэгт 3. Туршилт 3-ын утгууд

№	Катодын материалын нэр	Долгионы урт λ (нм)	Давтамж ν (10^{15})	Гарахын ажил W (эВ)	Улаан хил λ (нм)	Улаан хил ν (10^{15})	$T = E - W$ (эВ)	Планкийн тогтмол (10^{-34}Ж·с)
1		232	1.29				0.247	6.626
2		205	1.46	5.1	243	1.23	0.951	6.626
3	Алт	113	2.65				5.878	6.626
...	...	...	...	...	...		...	

Тооцоот туршилтын үр дүнг нэгтгэхүй

Дараах асуудлуудад хариулт өгснөөр классик болон квант физик дэх гэрлийн хоёрдмол шинж нь түүний дотоод мөн чанар болохыг ойлгон мэдэх болно. Нэгдүгээрт, туршилтын мэдээллийг нэгтгэн хамтаар хэлэлцэж (Jinwoong.S., 2020) классик физик дэх гэрлийн талаарх ойлголтыг томьёолж, түүний туршлагын нотолгоо юу болохыг ярилцана. Энэ номлол ёсоор бол электроны кинетик энерги гэрлийн ямар хэмжигдэхүүнээс хамаарах байсныг төнхөж дүрслэн хэлэлцэнэ. Хоёрдугаарт, гэрлийн талаарх туршилтын бат нотолгоо бүхий классик ойлголтыг эрс зөрчсөн фотоцахилгааны үзэгдлийн туршлагын дүнг дээр ярилцсан ёсоор Эйнштейний квант онол гарцаагүй тайлбарлаж байгааг юу гэж дүгнэвэл зохих вэ? Гуравдугаарт, гэрэл дифракцийн торын зурвас дундуур нэвтрэхдээ долгиолог харин атомын доторх электрон дээр тусахдаа “мөндөрийн” ширхэг- квант төрхтэй нь маргаангүй болохыг тогтооно. Энэ нь гэрлийн төдийгүй микро ертөнцийн тулгуурр зарчим болохыг гүнзгийрүүлсэн судалгаагаар тогтоож ярилцах нь зүйтэй.

ДҮГНЭЛТ

Фотоэффектийн үзэгдлийг судлах VR лаборатори бүтээж, түүнийг ашиглан металлын улаан хилийн давтамж, долгионы урт, электроны масс, Планкийн тогтмолыг тооцоолох ажлыг хийж гүйцэтгэх боломжтой. Энэхүү лабораторийг VR болон веб гэсэн хоёр хэлбэрээр ашиглах боломжтой.

Лабораторийн ажлыг сургалтад хэрэглэхдээ тухайн өгүүлэлд өгсөн тооцоог суралцагчдаар үйлдүүлнэ. Хэмжилтийн тоон утгаар хэлэлцүүлэг хийж, фотоцахилгааны үзэгдлийн мөн чанарыг тооцоолж, дүгнэлт гаргах ба энэ үед багш удирдан хөтөлж оролцоно. Цаашид виртуаль анги гэх ойлголтыг судалж хэрэгжүүлэхээр ажиллаж байна. Өөрөөр хэлбэл нэг өрөөнд олон хүн буюу 4-5 хүн тус бүр VR камер зүүж, хамтдаа туршилт хийх өрөөг хэрхэн бэлтгэх талаар судалгаа үргэлжилж байна.

ЗОХИОГЧДЫН ОРОЛЦОО

Онолын үндэс, санаа: О.Л., П.Э., Т.У; Арга зүй: О.Л., П.Э; **Мэдээлэл цуглуулалт:** Т.У., П.Э; **Бичилт (эхний хувилбар):** П.Э., Т.У; **Бичилт (засвар):** П.Э., Т.У; **Мэргэжлийн удирдлага:** О.Л.

НОМ ЗҮЙ

Olena Tsvetkova, Olena Piatykop, Antonina Dzherenova, Olha Pronina1, Tetiana Vakaliuk and Irina Fedosova, “Development and implementation of virtual physics laboratory simulations for enhanced learning experience in higher education” CEUR Workshop Proceedings 98-110

Lkhagva Oidov, Ulambayar Tortogtokh and Enkhtsetseg Purevdagva “Virtual Laboratory for Physics Teaching” Management and education innovation (ICMEI 2012), Vol-37, May 5-6, 2012, Kuala Lumpur, Malaysia.

Oliver Vauderwange, Stefano Gampe, Dan Curticapean, Ulrich Haiss, "VR-based implementation of interactive laboratory experiments in optics andphotonics education," Proc. SPIE 12213, Optics Education and Outreach VII,1221306 (3 October 2022); https://doi.org/10.1117/12.2633656

Jinwoong Song, Science & Education (2020) How Students Construct Collaborative Thought Experiments During Physics Problem-Solving Activities, Exploring Hartono Bancong, 29:617–645, https://doi.org/10.1007/s11191-020-00129-3

Jos Dirksen (2018). Learn Three.js, Third Edition, “Programming 3D animations and visualizations for the web with HTML5 and WebGL”

Anton Filanovich, Aleksandr Povzner. (2021). “Virtual Laboratories in Physics Education” https://doi.org/10.1119/5.0038803

Giuseppe Schirripa Spagnolo, Fabio Leccese and Mariagrazia Leccisi, Crystals (2019). “LED as Transmitter and Receiver of Light: A Simple Tool to Demonstration Photoelectric Effect” https://doi.org/10.3390/cryst9100531

Зохиогчдын мэдээлэл

Төртогтох Уламбаяр
https://orcid.org/0009-0000-0310-0910
Байгууллагын нэр: МУБИС, МБУС
Хаяг: СБД, 8 дугаар хороо, Бага тойруу-14
Улс: Монгол
e-mail: ulambayar@msue.edu.mn

Пүрэвдагва Энхцэцэг
https://orcid.org/0009-0006-4334-4470
Байгууллагын нэр: ХААИС, ХШУС
Хаяг: ХУД, 22 дугаар хороо, Зайсан
Улс: Монгол
e-mail: enkhtsetseg@muls.edu.mn

Ойдов Лхагва
https://orcid.org/0009-0006-4334-4470
Байгууллагын нэр: МУИС, БУС
Хаяг: СБД, 8 дугаар хороо, Бага тойруу, Их сургуулийн гудамж - 1
Улс: Монгол
e -mail: dorjtoinol@gmail.com