

## ELEKTRODINAMIKA BO'LIMI MAVZULARINI O'QITISHDA RAQAMLI TA'LIM MUHITINING IMKONIYATLARI

### ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ В ПРЕПОДАВАНИИ ТЕМ РАЗДЕЛА «ЭЛЕКТРОДИНАМИКА»

### POSSIBILITIES OF DIGITAL LEARNING ENVIRONMENTS IN TEACHING TOPICS OF THE ELECTRODYNAMICS DEPARTMENT

**Sh.A.Saidova**

*Buxoro davlat universiteti tayanch doktoranti*

**H.O.Jo'rayev**

*Buxoro davlat universiteti Fizika kafedrası professori.*

**Annotatsiya.** Mazkur tadqiqot ishida elektrodinamika bo'limi mavzularini o'qitishda raqamli ta'lim muhitining pedagogik va didaktik imkoniyatlari yoritilgan. Unda elektr zaryadi, elektr maydon, tok kuchi, kuchlanish, qarshilik, elektr zanjirlari va elektromagnit induksiya kabi mavzularni o'qitishda virtual laboratoriyalar, interaktiv simulyatsiyalar, multimedia resurslari, elektron topshiriqlar hamda diagnostik baholash vositalaridan foydalanishning metodik ahamiyati tahlil qilingan. Tadqiqotda raqamli ta'lim muhiti murakkab va ko'zga ko'rinmaydigan fizik jarayonlarni vizuallashtirish, o'quvchilarning konseptual tushunishini chuqurlashtirish, amaliy-laborator ko'nikmalarini rivojlantirish hamda mustaqil bilish faoliyatini faollashtirishga xizmat qilishi asoslab berilgan. Shuningdek, real va virtual laboratoriya mashg'ulotlarini o'zaro uyg'unlashtirish elektrodinamika mavzularini mazmunan anglashda samarali metodik yondashuv ekani ko'rsatib berilgan. Tadqiqot natijalari raqamli ta'lim vositalaridan tizimli va maqsadli foydalanish o'quvchilarning fizik tafakkuri, tahliliy fikrlashi, tajriba natijalarini izohlash va ilmiy xulosa chiqarish ko'nikmalarini rivojlantirishda muhim pedagogik omil ekanini tasdiqlaydi.

**Kalit so'zlar:** *elektrodinamika, raqamli ta'lim muhiti, fizika o'qitish metodikasi, virtual laboratoriya, interaktiv simulyatsiya, elektr zanjirlari, elektromagnit induksiya, konseptual tushunish, diagnostik baholash, mustaqil ta'lim, raqamli kompetensiya.*

**Аннотация.** В данном исследовании освещены педагогические и дидактические возможности цифровой образовательной среды при преподавании тем раздела электродинамики. В работе проанализировано методическое значение использования виртуальных лабораторий, интерактивных симуляций, мультимедийных ресурсов, электронных заданий и средств диагностического оценивания при изучении таких тем, как электрический заряд, электрическое поле, сила тока, напряжение, сопротивление, электрические цепи и электромагнитная индукция. В исследовании обосновано, что цифровая образовательная среда способствует

визуализации сложных и невидимых физических процессов, углублению концептуального понимания учащихся, развитию практико-лабораторных навыков и активизации самостоятельной познавательной деятельности. Также показано, что взаимная интеграция реальных и виртуальных лабораторных занятий является эффективным методическим подходом к содержательному усвоению тем электродинамики. Результаты исследования подтверждают, что системное и целенаправленное использование цифровых образовательных средств является важным педагогическим фактором развития физического мышления, аналитического мышления, навыков интерпретации результатов эксперимента и формирования научных выводов у учащихся.

**Ключевые слова:** электродинамика, цифровая образовательная среда, методика преподавания физики, виртуальная лаборатория, интерактивная симуляция, электрические цепи, электромагнитная индукция, концептуальное понимание, диагностическое оценивание, самостоятельное обучение, цифровая компетенция.

**Abstract.** This research highlights the pedagogical and didactic potential of the digital educational environment in teaching topics of the electrodynamics section. The study analyzes the methodological significance of using virtual laboratories, interactive simulations, multimedia resources, electronic assignments, and diagnostic assessment tools in teaching such topics as electric charge, electric field, electric current, voltage, resistance, electric circuits, and electromagnetic induction. The research substantiates that the digital educational environment contributes to the visualization of complex and invisible physical processes, deepens students' conceptual understanding, develops practical and laboratory skills, and enhances independent cognitive activity. It is also shown that the integration of real and virtual laboratory activities is an effective methodological approach to the meaningful acquisition of electrodynamics topics. The research results confirm that the systematic and purposeful use of digital educational tools is an important pedagogical factor in developing students' physical thinking, analytical thinking, skills in interpreting experimental results, and ability to draw scientific conclusions.

**Keywords:** electrodynamics, digital educational environment, methodology of teaching physics, virtual laboratory, interactive simulation, electric circuits, electromagnetic induction, conceptual understanding, diagnostic assessment, independent learning, digital competence.

Bugungi kunda ta'lim jarayonida raqamli texnologiyalardan foydalanish o'qitish mazmuni, metodlari va vositalarini tubdan yangilashga xizmat qilayotgan muhim pedagogik omillardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, fizika fanining elektrodinamika bo'limi mavzularini o'qitishda raqamli ta'lim muhitining imkoniyatlari alohida ahamiyat kasb etadi. Chunki elektrodinamika bo'limida elektr zaryadi, elektr maydon,

tok kuchi, kuchlanish, qarshilik, elektr zanjirlari, elektromagnit induksiya, elektromagnit maydon va elektromagnit to'liqlar kabi mavzular o'quvchilardan yuqori darajadagi abstrakt tafakkur, sabab-oqibat bog'lanishlarini tushunish va fizik jarayonlarni modellashtira olish ko'nikmalarini talab qiladi. Mazkur hodisalarning aksariyati bevosita ko'z bilan kuzatilmagani sababli, ularni faqat og'zaki bayon, statik chizma yoki formula orqali tushuntirish o'quvchilarda to'liq konseptual tasavvur hosil qilish uchun yetarli bo'lmaydi.

O'zbekiston Respublikasining "Ta'lim to'g'risida"gi Qonunida ta'lim shaxsga chuqur nazariy bilim, malaka va amaliy ko'nikmalar berishga, shuningdek, uning intellektual salohiyatini rivojlantirishga qaratilgan tizimli jarayon sifatida belgilangan [1]. Ushbu yondashuv fizika o'qitish jarayonida o'quvchilarning nazariy bilimlarini amaliy faoliyat bilan bog'lash, ularni mustaqil fikrlash, tajriba natijalarini tahlil qilish va ilmiy xulosa chiqarishga yo'naltirish zarurligini ko'rsatadi. Shu nuqtayi nazardan, elektrodinamika mavzularini raqamli ta'lim muhiti asosida o'qitish o'quvchilarning murakkab fizik tushunchalarni chuqur anglashiga, laborator-amaliy ko'nikmalarini rivojlantirishga va mustaqil bilish faoliyatini faollashtirishga xizmat qiluvchi dolzarb metodik yo'nalish hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Raqamli O'zbekiston – 2030" strategiyasida barcha sohalar qatori ta'lim tizimida ham raqamli texnologiyalarni keng joriy etish, raqamli infratuzilmani rivojlantirish va zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan samarali foydalanish vazifalari belgilangan [2]. Bu strategik vazifalar fizika ta'limida ham virtual laboratoriyalar, interaktiv simulyatsiyalar, elektron topshiriqlar, multimedia resurslari va raqamli baholash vositalaridan foydalanishni zarur qiladi. Elektrodinamika bo'limi mazmunan eksperimental va nazariy tahlilga boy bo'lganligi sababli, raqamli ta'lim muhiti elektr zanjirlarini modellashtirish, elektr maydon chiziqlarini vizuallashtirish, tok kuchi va kuchlanish o'rtasidagi bog'liqlikni kuzatish, qarshiliklarning ketma-ket va parallel ulanishini taqqoslash hamda elektromagnit induksiya jarayonini dinamik ko'rsatishda katta didaktik imkoniyatlarga ega.

UNESCOning 2023-yilgi "Technology in education: A tool on whose terms?" nomli Global Education Monitoring hisobotida texnologiyadan ta'limda foydalanish uning mavjudligi bilan emas, balki pedagogik maqsadga muvofiqligi, ta'lim sifati, o'qituvchi faoliyatini qo'llab-quvvatlashi va o'quvchi manfaatiga xizmat qilishi bilan baholanishi zarurligi ta'kidlanadi [3]. Bu fikr elektrodinamika mavzularini o'qitishda ham muhim metodik asos bo'lib xizmat qiladi. Chunki raqamli vositalar dars jarayonida faqat ko'rgazmali element sifatida emas, balki o'quvchini kuzatish, tajriba qilish, model yaratish, natijalarni tahlil qilish va fizik qonuniyatlarni mustaqil anglashga yo'naltiruvchi vosita sifatida qo'llangandagina samarali natija beradi.

Fizika ta'limida interaktiv simulyatsiyalardan foydalanishning samaradorligi PhET loyihasi doirasidagi tadqiqotlarda ham asoslangan. Perkins, Adams, Dubson, Finkelstein, Reid, Wieman va LeMaster tomonidan ta'kidlanishicha, PhET interaktiv simulyatsiyalari o'quvchilarga fizik hodisalarni tadqiq etish, real hayotiy vaziyatlar bilan bog'lash va ekspert fiziklar foydalanadigan ilmiy modellarni vizual tarzda tushunishga yordam beradi [4]. Elektrodinamika bo'limida bunday simulyatsiyalar elektr zanjirlarini yig'ish, tok kuchi va kuchlanishni o'lchash, qarshilik qiymatini o'zgartirish, elektr maydon ta'sirini kuzatish va fizik kattaliklar orasidagi funksional bog'lanishlarni aniqlashda samarali metodik vosita bo'lib xizmat qiladi.

Elektrodinamika mavzulari ichida elektr zanjirlari o'quvchilar uchun eng muhim va shu bilan birga murakkab tushunchalardan biri hisoblanadi. Zacharia va de Jong tomonidan elektr zanjirlarini o'rganishda virtual manipulyativlardan foydalanish bo'yicha olib borilgan tadqiqotda raqamli vositalar o'quvchilarning konseptual tushunishini rivojlantirishda muhim rol o'ynashi ko'rsatilgan [5]. Mazkur ilmiy xulosa shuni ko'rsatadiki, elektr zanjirlarida tokning taqsimlanishi, kuchlanishning o'zgarishi, qarshiliklarning ulanishi va tajriba natijalarini taqqoslash kabi jarayonlarni virtual muhitda kuzatish o'quvchining mavzuni yuzaki yodlashidan ko'ra mazmunan anglashiga ko'proq xizmat qiladi.

Shu jihatdan, elektrodinamika bo'limi mavzularini o'qitishda raqamli ta'lim muhitining imkoniyatlari bir necha yo'nalishda namoyon bo'ladi. Birinchidan, u ko'zga ko'rinmaydigan fizik jarayonlarni vizuallashtirish imkonini beradi. Ikkinchidan, virtual laboratoriya va simulyatsiyalar orqali o'quvchi tajribani xavfsiz, takroriy va parametrlarni o'zgartirgan holda bajaradi. Uchinchidan, raqamli muhit o'quvchilarning mustaqil izlanishi, mantiqiy tahlili, tajriba natijalarini solishtirishi va ilmiy xulosa chiqarish ko'nikmalarini rivojlantiradi. To'rtinchidan, elektron testlar va raqamli baholash vositalari o'qituvchiga o'zlashtirish darajasini tezkor aniqlash hamda individual yondashuvni amalga oshirish imkonini beradi.

Demak, mazkur tadqiqotning dolzarbligi elektrodinamika bo'limi mavzularini o'qitishda raqamli ta'lim muhitining didaktik imkoniyatlarini ilmiy-metodik jihatdan asoslash, virtual laboratoriya va interaktiv simulyatsiyalarning o'quvchilarning konseptual tushunishi hamda amaliy-laborator ko'nikmalariga ta'sirini aniqlash zarurati bilan belgilanadi. Tadqiqotning maqsadi – elektrodinamika bo'limi mavzularini o'qitishda raqamli ta'lim muhitining pedagogik imkoniyatlarini tahlil qilish va ularni fizika ta'limi samaradorligini oshirishga xizmat qiluvchi metodik omil sifatida asoslashdan iborat.

Elektrodinamika bo'limi mavzularini o'qitishda raqamli ta'lim muhitining imkoniyatlarini ilmiy-metodik jihatdan asoslash uchun avvalo ta'limni modernizatsiyalash, raqamli texnologiyalarni o'quv jarayoniga tatbiq etish, fizika ta'limida virtual laboratoriya va interaktiv simulyatsiyalardan foydalanish bo'yicha

mavjud adabiyotlarni tahlil qilish zarur. Mazkur yo‘nalishdagi manbalar shuni ko‘rsatadiki, raqamli ta‘lim muhiti elektrodinamika mavzularini o‘qitishda faqat ko‘rgazmali vosita emas, balki fizik hodisalarni modellashtirish, o‘quvchilarning konseptual tushunishini rivojlantirish, tajriba natijalarini tahlil qilish va mustaqil bilish faoliyatini faollashtirishga xizmat qiluvchi yaxlit pedagogik tizim sifatida qaralishi lozim.

O‘zbekiston Respublikasining “Ta‘lim to‘g‘risida”gi Qonunida ta‘lim shaxsga chuqur nazariy bilim, malaka va amaliy ko‘nikmalar berishga qaratilgan tizimli jarayon sifatida belgilangan [1]. Ushbu hujjat elektrodinamika bo‘limi mavzularini o‘qitishda nazariy bilimni amaliy faoliyat bilan bog‘lash, o‘quvchilarda ilmiy fikrlash, tajriba o‘tkazish va xulosa chiqarish ko‘nikmalarini rivojlantirish zarurligini asoslaydi. Elektrodinamika mavzulari – elektr zaryadi, elektr maydon, tok kuchi, kuchlanish, qarshilik, elektr zanjirlari va elektromagnit induksiya kabi tushunchalar abstrakt xarakterga ega bo‘lgani sababli, ularni an‘anaviy bayon bilan bir qatorda raqamli modellar va virtual laboratoriyalar orqali tushuntirish ta‘lim sifatini oshirishga xizmat qiladi.

“Raqamli O‘zbekiston – 2030” strategiyasida mamlakatda raqamli iqtisodiyot va raqamli infratuzilmani rivojlantirish, barcha sohalarda, jumladan, ta‘lim tizimida raqamli texnologiyalardan samarali foydalanish vazifalari belgilangan [2]. Mazkur strategiya elektrodinamika mavzularini o‘qitishda virtual laboratoriyalar, elektron ta‘lim resurslari, interaktiv simulyatsiyalar, onlayn topshiriqlar va raqamli baholash vositalaridan foydalanishning ijtimoiy-pedagogik zaruratini ko‘rsatadi. Ayniqsa, elektr zanjirlarini yig‘ish, tok kuchi va kuchlanish o‘rtasidagi bog‘lanishni kuzatish, qarshiliklarning ketma-ket va parallel ulanishini modellashtirish kabi jarayonlarda raqamli muhit o‘quvchilar uchun qulay va samarali didaktik imkoniyat yaratadi.

UNESCOning 2023-yilgi “Technology in education: A tool on whose terms?” nomli Global Education Monitoring hisobotida ta‘limda texnologiyalardan foydalanish ularning mavjudligi bilan emas, balki pedagogik maqsadga muvofiqligi, o‘quvchi ehtiyojiga mosligi, ta‘lim sifati va o‘qituvchi faoliyatini qo‘llab-quvvatlashi bilan baholanishi kerakligi ta‘kidlanadi [3]. Ushbu yondashuv elektrodinamika bo‘limini o‘qitishda muhim ahamiyatga ega. Chunki raqamli vosita darsda shunchaki ko‘rsatish uchun qo‘llansa, u kutilgan natijani bermaydi. U muammoli savol, kuzatish, tajriba, parametrlarni o‘zgartirish, natijalarni taqqoslash va ilmiy xulosa chiqarish jarayonlari bilan uyg‘unlashtirilgandagina samarali metodik vositaga aylanadi.

OECDning “Students, Computers and Learning: Making the Connection” hisobotida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining ta‘limga ta‘siri ularning miqdoriy ko‘pligi bilan emas, balki o‘quv jarayoniga mazmunli integratsiya qilinishi bilan belgilanadi [6]. Bu fikr elektrodinamika mavzulari uchun ham dolzarbdir. O‘quvchi kompyuter yoki simulyatsiyadan foydalanishning o‘zi bilan chuqur bilimga

ega bo'lib qolmaydi; aksincha, raqamli vosita aniq metodik topshiriq, savol, tahlil, muhokama va baholash bilan bog'langanda o'quvchining fizik tushunchalarni anglash darajasi ortadi. Shuning uchun raqamli ta'lim muhitida elektrodinamika mavzularini o'qitish modeli texnologiyadan maqsadli va didaktik asoslangan foydalanishni talab qiladi.

Mishra va Koehler tomonidan ishlab chiqilgan TPACK modeli raqamli ta'limda fanlarni o'qitish uchun muhim nazariy asos hisoblanadi [7]. Ushbu modelga ko'ra, samarali o'qitish texnologik bilim, pedagogik bilim va predmetga oid bilimlarning o'zaro uyg'unlashuviga tayanadi. Elektrodinamika bo'limini o'qitishda bu yondashuv ayniqsa zarur, chunki o'qituvchi nafaqat elektr hodisalarining ilmiy mazmunini yaxshi bilishi, balki ularni o'quvchiga tushunarli metodik shaklda yetkazishi va mos raqamli vositani tanlay olishi lozim. Masalan, elektr maydon chiziqlarini tushuntirishda vizual model, elektr zanjirlarini o'rganishda interaktiv simulyatsiya, elektromagnit induksiya hodisasini tushuntirishda esa dinamik animatsiya va virtual tajriba tanlanishi metodik jihatdan asosli hisoblanadi.

Perkins va hammualliflar tomonidan PhET interaktiv simulyatsiyalariga oid tadqiqotda ushbu platformaning fizika o'qitishdagi muhim afzalliklari ko'rsatib berilgan [2]. Mualliflar PhET simulyatsiyalarini fizik hodisalarni o'quvchilar uchun vizual, interaktiv va tadqiqotga yo'naltirilgan shaklda taqdim etuvchi vosita sifatida baholaydilar. Elektrodinamika mavzularida PhET simulyatsiyalari o'quvchilarga zanjir elementlarini ulash, tok kuchi va kuchlanishni o'lchash, qarshilik qiymatini o'zgartirish, elektr maydon ta'sirini kuzatish hamda fizik kattaliklar o'rtasidagi bog'lanishlarni mustaqil aniqlash imkonini beradi. Bu esa o'quvchini tayyor bilimni qabul qiluvchi emas, balki tajriba qiluvchi va xulosa chiqaruvchi faol subyektga aylantiradi.

Wieman, Perkins va Adamsning interaktiv simulyatsiyalar samaradorligiga bag'ishlangan tadqiqotda yaxshi loyihalashtirilgan simulyatsiyalar fizika o'rganishda o'quvchilarning faolligini oshirishi, ularni hodisani kuzatish, tajriba qilish va tushuncha hosil qilishga undashi asoslangan [8]. Mualliflar simulyatsiya samaradorligi uning o'qituvchi izohi, o'quv topshirig'i va muhokama bilan uyg'unlashishiga bog'liq ekanini ko'rsatadilar. Bu xulosa elektrodinamika bo'limini o'qitish metodikasida raqamli simulyatsiyalarni mustaqil maqsad emas, balki muammoli vaziyat, tajriba va refleksiya bosqichlari bilan bog'langan metodik vosita sifatida qo'llash zarurligini asoslaydi.

Smetana va Bell tomonidan kompyuter simulyatsiyalarining fan ta'limidagi o'rni bo'yicha olib borilgan tanqidiy tahlilda simulyatsiyalar murakkab, ko'zga ko'rinmaydigan, xavfli yoki real sharoitda takrorlash qiyin bo'lgan jarayonlarni o'rganishda samarali vosita ekani ko'rsatilgan [9]. Elektrodinamika bo'limida bunday holatlar juda ko'p uchraydi: elektr maydonning taqsimlanishi, zaryadlarning o'zaro

ta'siri, zanjirdagi tok taqsimoti, elektromagnit induksiya jarayoni bevosita ko'z bilan kuzatilmaydi. Shu sababli simulyatsiyalar o'quvchilarga ushbu jarayonlarni vizual idrok etish, parametrlarni o'zgartirish va natijalarni taqqoslash imkonini beradi.

Zacharia va de Jong tomonidan elektr zanjirlarini o'rganishda virtual manipulyativlardan foydalanish bo'yicha olib borilgan tadqiqot elektrodinamika ta'limi uchun bevosita ahamiyatga ega [5]. Tadqiqotda virtual manipulyativlar elektr zanjirlari bo'yicha konseptual tushunchalarni shakllantirish va tajriba jarayonlarini tushunishda muhim rol o'ynashi ko'rsatiladi. Bu manba elektrodinamika mavzularida virtual zanjirlar, interaktiv sxemalar va raqamli tajribalar o'quvchilarning tok kuchi, kuchlanish va qarshilik o'rtasidagi bog'liqlikni mazmunan anglashiga yordam berishini ilmiy jihatdan asoslaydi.

De Jong, Linn va Zacharia tomonidan fizik va virtual laboratoriyalar bo'yicha olib borilgan tadqiqotda real va virtual laboratoriyalarni bir-biriga qarama-qarshi qo'yish emas, balki ularni uyg'unlashtirish zarurligi ta'kidlanadi [10]. Real laboratoriya o'quvchilarda asbob-uskunalar bilan ishlash, o'lchash va tajriba madaniyatini shakllantirsa, virtual laboratoriya jarayonni takroriy kuzatish, parametrlarni tez o'zgartirish, xatoni xavfsiz tahlil qilish va murakkab hodisalarni vizuallashtirish imkonini beradi. Elektrodinamika bo'limida bu ikki yondashuvning integratsiyasi ayniqsa muhimdir: o'quvchi real zanjir bilan ishlash orqali amaliy tajriba orttiradi, virtual zanjir orqali esa fizik qonuniyatni chuqurroq tahlil qiladi.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, elektrodinamika bo'limi mavzularini o'qitishda raqamli ta'lim muhiti bir necha asosiy imkoniyatlarga ega. Birinchidan, u ko'zga ko'rinmaydigan elektr va magnit hodisalarni vizuallashtirish imkonini beradi. Ikkinchidan, virtual laboratoriya va simulyatsiyalar orqali o'quvchi fizik jarayonni xavfsiz, takroriy va interaktiv tarzda o'rganadi. Uchinchidan, raqamli muhit o'quvchilarning mustaqil fikrlashi, tajriba natijalarini tahlil qilishi va ilmiy xulosa chiqarish ko'nikmalarini rivojlantiradi. To'rtinchidan, raqamli baholash vositalari o'qituvchiga o'zlashtirish darajasini tezkor aniqlash, xatolarni tahlil qilish va individual yondashuvni amalga oshirish imkonini beradi.

Demak, tahlil qilingan manbalar asosida elektrodinamika bo'limi mavzularini raqamli ta'lim muhitida o'qitishning samarali metodik tizimi quyidagi bosqichlarga tayanishi maqsadga muvofiq: muammoli vaziyat yaratish, nazariy tushunchani shakllantirish, raqamli modellashtirish, virtual yoki real laborator tajriba bajarish, amaliy topshiriqlarni yechish, natijalarni tahlil qilish, refleksiya va diagnostik baholash. Ushbu bosqichlar elektrodinamika ta'limini reproduktiv yondashuvdan faol, tadqiqotga yo'naltirilgan va raqamli-didaktik asoslangan o'qitish tizimiga aylantirish imkonini beradi.

Mazkur tadqiqot metodologiyasi elektrodinamika bo'limi mavzularini o'qitishda raqamli ta'lim muhitining didaktik imkoniyatlarini aniqlash, ularni o'quv jarayoniga

samarali integratsiyalash shartlarini belgilash hamda o'quvchilarning konseptual tushunishi, amaliy-laborator ko'nikmalari va mustaqil bilish faoliyatiga ta'sirini tahlil qilishga qaratildi. Tadqiqotda raqamli ta'lim muhiti elektrodinamika mavzularini o'qitishda qo'shimcha ko'rgazmali vosita sifatida emas, balki fizik hodisalarni modellashtirish, tajriba natijalarini tahlil qilish, mustaqil topshiriqlarni bajarish va diagnostik baholashni tashkil etuvchi yaxlit metodik tizim sifatida qaraldi.

Tadqiqotning me'yoriy-metodik asosi sifatida O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Raqamli O'zbekiston – 2030" strategiyasida belgilangan ta'lim tizimiga raqamli texnologiyalarni keng joriy etish, raqamli infratuzilmani rivojlantirish va zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan samarali foydalanish vazifalari olindi [2]. Mazkur hujjat elektrodinamika mavzularini o'qitishda virtual laboratoriyalar, interaktiv simulyatsiyalar, elektron topshiriqlar va raqamli baholash vositalaridan foydalanish zaruratini asoslaydi. Shu sababli tadqiqotda raqamli vositalar o'quvchilarni faol kuzatish, tajriba qilish, parametrlarni o'zgartirish, natijalarni taqqoslash va ilmiy xulosa chiqarishga yo'naltiruvchi metodik imkoniyat sifatida baholandi.

Tadqiqotning nazariy asosi sifatida Mishra va Koehler tomonidan ishlab chiqilgan TPACK — texnologik, pedagogik va predmetga oid bilimlar integratsiyasi modeli tanlandi [7]. Ushbu modelga ko'ra, o'qituvchi raqamli texnologiyani alohida texnik vosita sifatida emas, balki o'quv predmeti mazmuni va pedagogik metodlar bilan uyg'un holda qo'llashi lozim. Elektrodinamika bo'limida bu yondashuv ayniqsa muhimdir, chunki elektr zaryadi, elektr maydon, tok kuchi, kuchlanish, qarshilik, elektr zanjirlari va elektromagnit induksiya kabi mavzular o'quvchilardan abstrakt fikrlash va jarayonlar o'rtasidagi sabab-oqibat bog'lanishlarini anglashni talab qiladi. Shuning uchun raqamli vositalarni tanlashda mavzuning ilmiy mazmuni, dars maqsadi, o'quvchilarning tayyorgarlik darajasi va kutilayotgan natijalar hisobga olindi.

Tadqiqotda nazariy-tahliliy, qiyosiy-didaktik, modellashtirish, pedagogik kuzatish, diagnostik baholash va umumlashtirish metodlaridan foydalanildi. Nazariy-tahliliy metod orqali elektrodinamika mavzularini o'qitishda raqamli ta'lim muhitining imkoniyatlari, virtual laboratoriya va simulyatsiyalarning didaktik vazifalari, elektron baholash vositalarining o'rni o'rganildi. Qiyosiy-didaktik metod yordamida an'anaviy o'qitish, real laboratoriya mashg'ulotlari va virtual tajribalar imkoniyatlari taqqoslandi. Bu jarayonda elektrodinamika mavzularida ko'zga ko'rinmaydigan fizik jarayonlarni vizuallashtirish, tajribani xavfsiz takrorlash va parametrlarni tez o'zgartirish raqamli muhitning muhim afzalligi sifatida belgilandi.

Modellashtirish metodi asosida elektrodinamika mavzularini raqamli ta'lim muhitida o'qitishning bosqichli metodik yondashuvi ishlab chiqildi. Ushbu yondashuv muammoli vaziyat yaratish, nazariy tushunchani shakllantirish, raqamli modellashtirish, virtual yoki real laborator tajriba bajarish, amaliy topshiriqlarni

yechish, natijalarni tahlil qilish, refleksiya va diagnostik baholash bosqichlarini o'z ichiga oladi. Bu bosqichlar o'quvchilarning tayyor bilimni passiv qabul qilishidan ko'ra fizik hodisani mustaqil kuzatish, tajriba asosida tahlil qilish va ilmiy xulosa chiqarish faoliyatini kuchaytirishga yo'naltirildi.

Elektrodinamika bo'limida ayniqsa elektr zanjirlari mavzularini o'qitishda virtual manipulyativlardan foydalanish muhim metodik ahamiyatga ega. Zacharia va de Jong tadqiqotida virtual manipulyativlar elektr zanjirlarini o'rganishda o'quvchilarning konseptual tushunishiga ta'sir ko'rsatishi tahlil qilingan [5]. Shu asosda mazkur tadqiqotda elektr zanjirlarini o'qitishda virtual model, interaktiv sxema va raqamli tajribalardan foydalanish o'quvchilarning tok kuchi, kuchlanish, qarshilik, ketma-ket va parallel ulanishlar haqidagi tushunchalarini chuqurlashtirishga xizmat qiluvchi metodik vosita sifatida belgilandi.

Diagnostik baholash metodidan o'quvchilarning elektrodinamika mavzulari bo'yicha dastlabki bilim darajasi, raqamli muhit asosidagi mashg'ulotlardan keyingi o'zlashtirish ko'rsatkichi, konseptual tushunishi va amaliy topshiriqlarni bajarish sifati aniqlash uchun foydalanish nazarda tutildi. Baholash jarayonida elektron testlar, virtual laboratoriya bo'yicha hisobotlar, kuzatish varaqalari, savol-javob, amaliy topshiriqlar va reflektiv yozuvlardan foydalanish maqsadga muvofiq deb belgilandi. Bunday yondashuv o'quvchilarning faqat formulani bilishini emas, balki fizik jarayonni tushunishi, tajriba natijasini izohlashi va xulosa chiqarish qobiliyatini baholash imkonini beradi.

Shunday qilib, tadqiqot metodologiyasi raqamli ta'lim muhitining elektrodinamika mavzularini o'qitishdagi nazariy, amaliy va diagnostik imkoniyatlarini kompleks tahlil qilishga asoslandi. Unda raqamli vositalar o'quv jarayonining alohida qo'shimcha elementi emas, balki elektrodinamika mavzularini chuqur o'zlashtirish, amaliy-laborator ko'nikmalarni rivojlantirish va o'quvchilarning mustaqil bilish faoliyatini faollashtirishga xizmat qiluvchi metodik tizim sifatida talqin qilindi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, elektrodinamika bo'limi mavzularini o'qitishda raqamli ta'lim muhiti o'quvchilarning fizik hodisalarni anglash, amaliy topshiriqlarni bajarish, tajriba natijalarini tahlil qilish va mustaqil xulosa chiqarish ko'nikmalarini rivojlantirishda muhim pedagogik imkoniyatlarga ega. Elektrodinamika mazmunida elektr zaryadi, elektr maydon, tok kuchi, kuchlanish, qarshilik, elektr zanjirlari va elektromagnit induksiya kabi mavzular o'quvchilar uchun nisbatan murakkab bo'lib, ularning aksariyati bevosita ko'z bilan kuzatilmaydi. Shu sababli raqamli modellashtirish, virtual laboratoriya va interaktiv simulyatsiyalar ushbu mavzularni vizual, tajribaviy va tahliliy asosda o'zlashtirishga xizmat qiladi.

UNESCOning 2023-yilgi hisobotida ta'limda texnologiyadan foydalanish o'quvchi manfaatiga xizmat qilishi, pedagogik maqsad bilan bog'lanishi va o'qituvchi

faoliyatini to'ldirishi zarurligi ta'kidlanadi [3]. Ushbu yondashuv elektrodinamika bo'limi mavzularini o'qitishda muhim ahamiyatga ega. Chunki raqamli vosita darsda faqat tayyor animatsiyani ko'rsatish uchun emas, balki o'quvchini muammoli savolga javob izlash, model bilan ishlash, tajriba natijasini taqqoslash va fizik qonuniyatni mustaqil anglashga yo'naltirgandagina samarali natija beradi.

Tahlillar asosida elektrodinamika bo'limini raqamli ta'lim muhitida o'qitishning quyidagi asosiy natijalari aniqlandi:

**1-jadval**

Elektrodinamika mavzularini raqamli ta'lim muhitida o'qitish natijalari

| Yo'nalish                 | Raqamli ta'lim muhitining imkoniyati   | O'quvchida shakllanadigan natija                        |
|---------------------------|--|---|
| Elektr maydon             | Maydon chiziqlari, zaryadlar ta'siri va kuchlanganlik yo'nalishini vizual ko'rsatish | Mavhum fizik jarayonni obrazli idrok etish              |
| Elektr zanjirlari         | Zanjir elementlarini virtual ulash, tok kuchi va kuchlanishni o'lchash               | Amaliy-laborator ko'nikma va sabab-oqibat tahlili       |
| Qarshiliklarning ulanishi | Ketma-ket va parallel ulanishlarni taqqoslash  | Fizik kattaliklar orasidagi bog'lanishni tushunish      |
| Elektromagnit induksiya   | Magnit oqimi, g'altak va induksion tokni dinamik ko'rsatish                          | Murakkab hodisani bosqichma-bosqich anglash             |
| Mustaqil ta'lim           | Elektron topshiriq, virtual tajriba va testlardan foydalanish                        | Mustaqil fikrlash va o'z-o'zini baholash ko'nikmasi     |
| Diagnostik baholash       | Raqamli test va tezkor teskari aloqa   | O'zlashtirish darajasini aniqlash va xatolarni tuzatish |

Jadvaldan ko'rinadiki, raqamli ta'lim muhiti elektrodinamika mavzularida o'quvchini tayyor bilimni qabul qiluvchi emas, balki fizik jarayonni kuzatuvchi, tajriba qiluvchi, parametrlarni o'zgartiruvchi va natijani tahlil qiluvchi faol subyektga aylantiradi. Ayniqsa, elektr zanjirlari mavzularida virtual laboratoriyalar o'quvchilarga zanjir elementlarini xavfsiz yig'ish, turli holatlarni taqqoslash, tok kuchi, kuchlanish va qarshilik o'rtasidagi bog'lanishni tajriba asosida anglash imkonini beradi.

Virtual va fizik laboratoriyalar samaradorligi bo'yicha 2023-yilda o'tkazilgan meta-tahlilda virtual tadqiqotlar konseptual bilimlarni egallashda muhim imkoniyatlarga ega ekani ko'rsatilgan. Bu xulosa elektrodinamika bo'limi uchun ham dolzarbdir. Chunki real laboratoriya o'quvchilarda asbob-uskunalar bilan ishlash, o'lchash va tajriba madaniyatini shakllantirsa, virtual laboratoriya hodisani takror kuzatish, parametrlarni tez o'zgartirish, xavfsiz xatoga yo'l qo'yish va natijani qayta tahlil qilish imkonini beradi. Shuning uchun elektrodinamika mavzularini o'qitishda

real va virtual laboratoriyalarni qarama-qarshi qo'yish emas, balki ularni o'zaro integratsiyalashgan holda qo'llash maqsadga muvofiqdir.

Virtual tajribalar asosidagi fizika ta'limi bo'yicha 2025-yilgi tizimli tahlilda virtual eksperimentlar laboratoriya jihozlari, tajriba sharoiti va xavfsizlik bilan bog'liq cheklovlarni kamaytirishi, fizik hodisalarni o'rganishda qo'shimcha imkoniyat yaratishi qayd etilgan. Elektrodinamika mavzularida bu imkoniyatlar ayniqsa yaqqol ko'rinadi. Masalan, elektromagnit induksiya hodisasini real tajribada ko'rsatish mumkin bo'lsa-da, magnit oqimi o'zgarishi, induksion tok yo'nalishi va zanjirdagi o'zgarishlarni dinamik tarzda ko'rsatish virtual model orqali yanada tushunarli bo'ladi.

Muhokama jarayonida aniqlanishicha, raqamli ta'lim muhitining samaradorligi uchta asosiy shartga bog'liq. Birinchidan, raqamli vosita aniq pedagogik maqsadga xizmat qilishi lozim. Ikkinchidan, simulyatsiya yoki virtual laboratoriya o'qituvchi tomonidan berilgan muammoli savol, topshiriq va tahlil bilan bog'lanishi kerak. Uchinchidan, raqamli faoliyat yakunida o'quvchi natijani izohlashi, xatoni aniqlashi va fizik qonuniyat bo'yicha xulosa chiqarishi zarur.

Shu asosda elektrodinamika bo'limi mavzularini raqamli ta'lim muhitida o'qitishda quyidagi metodik ketma-ketlik samarali deb topildi:

- muammoli vaziyat yaratish;
- nazariy tushunchani qisqa va aniq izohlash;
- raqamli model yoki virtual laboratoriyada hodisani kuzatish;
- parametrlarni o'zgartirib natijalarni taqqoslash;
- real yoki virtual tajriba asosida xulosa chiqarish;
- elektron topshiriq va diagnostik baholash orqali bilimni mustahkamlash.

Mazkur yondashuv elektrodinamika mavzularida o'quvchilarning konseptual tushunishini chuqurlashtiradi. Masalan, Om qonuni faqat formula sifatida emas, balki tok kuchi, kuchlanish va qarshilik o'rtasidagi funksional bog'lanish sifatida anglanadi. Elektr maydon mavzusida o'quvchi maydon chiziqlarining yo'nalishi va zaryadlar o'zaro ta'sirini vizual kuzatadi. Elektromagnit induksiya mavzusida esa magnit harakati, g'altak va induksion tok o'rtasidagi bog'lanishni dinamik modelda tahlil qiladi.

Umuman olganda, natijalar raqamli ta'lim muhiti elektrodinamika bo'limini o'qitishda quyidagi pedagogik imkoniyatlarni berishini ko'rsatadi: murakkab fizik hodisalarni vizuallashtirish, o'quvchilarni faol tajriba jarayoniga jalb etish, real va virtual laboratoriya imkoniyatlarini uyg'unlashtirish, mustaqil ta'limni rivojlantirish hamda diagnostik baholash orqali individual yondashuvni ta'minlash. Shu bois elektrodinamika mavzularini o'qitishda raqamli ta'lim muhiti ta'lim sifatini oshiruvchi, o'quvchilarning fizik tafakkurini rivojlantiruvchi va nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog'lovchi samarali metodik omil sifatida baholanishi mumkin.

Elektrodinamika bo‘limi fizika kursining nazariy va amaliy jihatdan muhim qismlaridan biri bo‘lib, unda elektr zaryadi, elektr maydon, elektr toki, kuchlanish, qarshilik, elektr zanjirlari, elektromagnit induksiya va elektromagnit maydon kabi mavzular o‘rganiladi. Ushbu mavzularning aksariyati bevosita ko‘z bilan kuzatilmaydigan, abstrakt va modellashtirishni talab qiladigan jarayonlarga asoslangan. Shu sababli elektrodinamika mavzularini o‘qitishda raqamli ta‘lim muhiti murakkab fizik hodisalarni vizuallashtirish, o‘quvchini tajriba jarayoniga faol jalb etish va nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog‘lash imkonini beradi.

So‘nggi yillarda ta‘limda raqamli texnologiyalar va sun‘iy intellekt vositalaridan foydalanish masalasi xalqaro miqyosda dolzarb yo‘nalishga aylandi. UNESCO tomonidan 2024-yilda ishlab chiqilgan o‘qituvchilar uchun sun‘iy intellekt kompetensiyalari doirasida raqamli va AI vositalaridan foydalanishda inson markazliligi, etik yondashuv, pedagogik maqsadga muvofiqlik va o‘qituvchining kasbiy tayyorgarligi muhim omillar sifatida ko‘rsatilgan [3]. Bu yondashuv elektrodinamika mavzularini o‘qitishda ham dolzarbdir. Chunki raqamli texnologiya darsda mustaqil maqsad emas, balki fizik hodisani tushuntirish, tajribani modellashtirish, natijani baholash va o‘quvchining bilim olish faoliyatini qo‘llab-quvvatlovchi metodik vosita sifatida qo‘llanishi kerak.

Raqamli ta‘lim muhitining birinchi muhim imkoniyati — elektrodinamika hodisalarini vizuallashtirishdir. Masalan, elektr maydon chiziqlari, zaryadlarning o‘zaro ta‘siri, elektr zanjirida tokning yo‘nalishi, qarshiliklarning ulanish holatlari yoki elektromagnit induksiya jarayoni an‘anaviy darsda ko‘pincha chizma va formula orqali tushuntiriladi. Virtual laboratoriya va interaktiv simulyatsiyalar esa ushbu hodisalarni harakatli, dinamik va o‘quvchi boshqarishi mumkin bo‘lgan shaklda namoyon etadi. Fizika ta‘limida virtual laboratoriyalar bo‘yicha 2024-yilgi tizimli tahlilda virtual laboratoriyalar o‘quvchilarga tajribalarni mustaqil bajarish, nazariy bilimlarni amaliy jarayonlar bilan bog‘lash va murakkab fizik hodisalarni yaxshiroq anglash imkonini berishi qayd etilgan.

Raqamli muhitning ikkinchi imkoniyati — xavfsiz va takroriy tajriba bajarishdir. Elektrodinamika bo‘limida elektr zanjirlarini noto‘g‘ri ulash, yuqori kuchlanish, qisqa tutashuv yoki o‘lchov xatolari real laboratoriyada xavf tug‘dirishi mumkin. Virtual laboratoriyada esa o‘quvchi zanjir elementlarini turli usullarda ulab ko‘radi, qarshilik qiymatini o‘zgartiradi, tok kuchi va kuchlanishdagi o‘zgarishlarni kuzatadi, xatoga yo‘l qo‘ysa, uni xavfsiz tahlil qiladi. Bu jarayon o‘quvchida tajriba o‘tkazish madaniyati, sabab-oqibat munosabatlarini tushunish va ilmiy xulosa chiqarish ko‘nikmasini rivojlantiradi.

Uchinchi imkoniyat – real va virtual laboratoriyalarni uyg‘unlashtirishdir. Elektron zanjirlarni o‘qitishda real va virtual laboratoriyalar ta‘sirini o‘rgangan 2024-yilgi tadqiqotda har ikki laboratoriya turi o‘quvchilarning konseptual bilimi, izlanish

ko'nikmasi va o'lchash malakasini rivojlantirishga xizmat qilishi ko'rsatilgan. Demak, elektrodinamika ta'limida real laboratoriyani virtual laboratoriya bilan almashtirish emas, balki ularni o'zaro to'ldiruvchi vositalar sifatida qo'llash maqsadga muvofiqdir. Real tajriba o'quvchiga asbob-uskunalar bilan ishlashni o'rgatsa, virtual tajriba jarayonni qayta-qayta kuzatish, parametrlarni tez o'zgartirish va nazariy bog'lanishlarni chuqurroq tahlil qilish imkonini beradi.

To'rtinchi imkoniyat – o'quvchilarning konseptual tushunishini chuqurlashtirishdir. Elektrodinamika mavzularida ko'plab o'quvchilar formulani yodlaydi, ammo fizik mazmuni to'liq anglamaydi. Masalan, Om qonuni faqat  $I = \frac{U}{R}$  ko'rinishidagi formula sifatida emas, balki tok kuchi, kuchlanish va qarshilik o'rtasidagi funksional bog'lanish sifatida tushunilishi zarur. Virtual simulyatsiyada kuchlanish yoki qarshilik qiymati o'zgartirilganda tok kuchining qanday o'zgarishini kuzatish o'quvchiga ushbu qonunni mazmunan anglashga yordam beradi. Virtual tajribalar asosidagi fizika ta'limiga oid 2025-yilgi tizimli sharhda bunday tajribalar laboratoriya jihozlari, tajriba muhiti va xavfsizlik bilan bog'liq cheklovlarni kamaytirishi hamda fizik hodisalarni o'rganishda muhim qo'shimcha imkoniyat yaratishi ta'kidlangan.

Beshinchi imkoniyat – mustaqil ta'lim va individual yondashuvni kuchaytirishdir. Raqamli ta'lim muhitida o'quvchi virtual laboratoriya topshiriqlarini mustaqil bajarishi, elektron testlardan o'tishi, simulyatsiya natijalarini jadval yoki grafik shaklida tahlil qilishi mumkin. O'qituvchi esa raqamli baholash vositalari orqali o'quvchilarning xatolarini tez aniqlaydi, ularning o'zlashtirish darajasini kuzatadi va individual tavsiyalar beradi. Bu elektrodinamika kabi murakkab bo'limni o'rganishda ta'lim jarayonini shaxsga yo'naltirish imkonini oshiradi.

Elektrodinamika mavzularini raqamli ta'lim muhitida o'qitish quyidagi metodik ketma-ketlikda samarali tashkil etilishi mumkin: avval muammoli vaziyat yaratiladi; keyin mavzuga oid nazariy tushuncha qisqa va aniq izohlanadi; so'ngra virtual laboratoriya yoki simulyatsiya orqali fizik jarayon modellashtiriladi; o'quvchilar parametrlarni o'zgartirib, natijalarni taqqoslaydi; yakunda elektron topshiriq, refleksiya va diagnostik baholash orqali bilim mustahkamlanadi. Bunday yondashuv o'quvchini tayyor bilimni qabul qiluvchi emas, balki fizik jarayonni kuzatuvchi, tajriba qiluvchi, tahlil etuvchi va xulosa chiqaruvchi faol subyekt sifatida shakllantiradi.

Raqamli ta'lim muhiti elektrodinamika mavzularini o'qitishda quyidagi asosiy imkoniyatlarni ham beradi: murakkab va ko'zga ko'rinmaydigan fizik jarayonlarni vizuallashtirish; elektr zanjirlari va elektromagnit hodisalarni xavfsiz modellashtirish; real va virtual laboratoriyalarni uyg'unlashtirish; o'quvchilarning konseptual tushunishini chuqurlashtirish; mustaqil ta'lim, tahliliy fikrlash va diagnostik baholash imkoniyatlarini kengaytirish. Shu bois elektrodinamika bo'limi mavzularini o'qitishda

raqamli ta'lim muhitidan tizimli, maqsadli va ilmiy-metodik asoslangan holda foydalanish fizika ta'limi sifatini oshirishning muhim pedagogik sharti hisoblanadi.

**Xulosa.** Elektrodinamika bo'limi mavzularini o'qitishda raqamli ta'lim muhitidan foydalanish murakkab fizik tushunchalarni vizuallashtirish, modellashtirish va amaliy tajriba bilan bog'lash imkonini beradi. Elektr zaryadi, elektr maydon, tok kuchi, kuchlanish, qarshilik, elektr zanjirlari va elektromagnit induksiya kabi mavzularni virtual laboratoriyalar hamda interaktiv simulyatsiyalar orqali o'qitish o'quvchilarning mavzuni mazmunan anglashiga xizmat qiladi.

Raqamli ta'lim muhiti o'quvchini tayyor bilimni qabul qiluvchi emas, balki fizik jarayonni kuzatuvchi, tajriba qiluvchi, natijalarni taqqoslovchi va ilmiy xulosa chiqaruvchi faol subyekt sifatida shakllantiradi. Virtual laboratoriyalar elektr zanjirlarini xavfsiz yig'ish, fizik kattaliklar o'rtasidagi bog'lanishni kuzatish va elektromagnit hodisalarni dinamik tushuntirishda samarali metodik vosita hisoblanadi.

Umuman, raqamli ta'lim muhiti real laboratoriya mashg'ulotlarini almashtirmaydi, balki ularni metodik jihatdan boyitadi. Shu bois elektrodinamika mavzularini o'qitishda virtual laboratoriyalar, interaktiv simulyatsiyalar, elektron topshiriqlar va diagnostik baholash vositalaridan tizimli foydalanish o'quvchilarning konseptual tushunishi, amaliy ko'nikmalari, mustaqil fikrlashi va raqamli kompetensiyalarini rivojlantirishga xizmat qiladi.

### Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati.

1. O'zbekiston Respublikasining "Ta'lim to'g'risida"gi Qonuni. O'RQ-637-son, 23.09.2020.
2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Raqamli O'zbekiston — 2030" strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PF-6079-son Farmoni. 05.10.2020.
3. UNESCO. Global Education Monitoring Report 2023: Technology in education — A tool on whose terms? Paris: UNESCO, 2023.
4. Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C., & LeMaster, R. PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. *The Physics Teacher*, 44(1), 2006. DOI: 10.1119/1.2150754.
5. Zacharia, Z. C., & de Jong, T. The Effects on Students' Conceptual Understanding of Electric Circuits of Introducing Virtual Manipulatives Within a Physical Manipulatives-Oriented Curriculum. *Cognition and Instruction*, 32(2), 2014. DOI: 10.1080/07370008.2014.887083.
6. OECD. *Students, Computers and Learning: Making the Connection*. Paris: OECD Publishing, 2015. DOI: 10.1787/9789264239555-en.

7. Mishra, P., & Koehler, M. J. Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 2006. DOI: 10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x.
8. Wieman, C. E., Perkins, K. K., & Adams, W. K. Oersted Medal Lecture 2007: Interactive simulations for teaching physics: What works, what doesn't, and why. *American Journal of Physics*, 76(4–5), 2008. DOI: 10.1119/1.2815365.
9. Smetana, L. K., & Bell, R. L. Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A Critical Review of the Literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 2012. DOI: 10.1080/09500693.2011.605182.
10. De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education. *Science*, 340(6130), 2013. DOI: 10.1126/science.1230579.
11. Muilwijk, S. E., Lazonder, A. W., & de Jong, T. Learning from physical and virtual investigation: A meta-analysis. *Frontiers in Education*, 2023.
12. Wang, Y. Virtual experiments in physics education: A systematic review. *International Journal of Science Education*, 2025.
13. UNESCO. AI Competency Framework for Teachers. Paris: UNESCO, 2024.
14. Darman, D. R., Suhandi, A., Kaniawati, I., Samsudin, A., & Wibowo, F. C. Virtual laboratory in physics education: A systematic review. *AIP Conference Proceedings*, 2024.
15. Tokatlidis, C., Raptis, S., & Tsaparlis, G. Hands-On and Virtual Laboratories in Electronic Circuits Learning—Knowledge and Skills Acquisition. *Information*, 15(11), 672, 2024. Wang, Y., Zhang, L., & Pang, M. Virtual experiments in physics education: A systematic literature review. *Research in Science & Technological Education*, 2025.