ELEKTRODINAMIKA FANINI O‘QITISHDA SUN’IY INTELLEKTDAN FOYDALANISH ISTIQBOLLARI

Saidov Qurbon Sayfullayevich

Buxoro davlat universiteti, Fizika kafedrasi

Annotatsiya. Tezisda “Elektrodinamika” fanini o‘zlashtirishdagi tipik kognitiv qiyinchiliklar tasniflanib, ularni bartaraf etishda sun’iy intellekt (SI) vositalari — katta til modellari asosidagi Sokratik repetitorlar, SI ko‘magidagi hisoblash laboratoriyasi (FDTD, fizik qonunlar bilan cheklangan neyron tarmoqlar — PINN), bilimlar holatini Bayes kuzatuviga asoslangan moslashuvchan diagnostikadan iborat uch komponentli metodik model taklif etiladi. Fan mavzulari bo‘yicha SI vositalarini qo‘llash matritsasi, namunaviy dars ssenariysi, samaradorlikni baholashning miqdoriy mezonlari hamda SI dan foydalanishning etik-me’yoriy tamoyillari asoslab beriladi.

Kalit so‘zlar: elektrodinamika, Maksvell tenglamalari, sun’iy intellekt, katta til modellari, intellektual repetitor, moslashuvchan ta’lim, PINN, FDTD, Bayes bilim kuzatuvi, normallashgan o‘sish, konseptual test.

Dolzarbligi. Elektrodinamika nazariy fizika kursining eng abstrakt bo‘limlaridan biri bo‘lib, uning o‘zlashtirilishi talabadan vektor analiz (div, rot, grad operatorlari), xususiy hosilali differensial tenglamalar va maydonni fazoviy tasavvur qilish ko‘nikmalarini talab etadi. Fizika ta’limi tadqiqotlarida (masalan, CSEM — elektr va magnetizm bo‘yicha konseptual test) talabalarning Gauss teoremasi, elektromagnit induksiya va maydon superpozitsiyasi bo‘yicha barqaror noto‘g‘ri tasavvurlari qayd etilgan. B. Blum o‘zining “ikki sigma muammosi” tadqiqotida individual repetitor bilan o‘qigan talabalar an’anaviy guruhdagilardan taxminan ikki standart og‘ishga yuqori natija ko‘rsatishini aniqlagan; K. VanLen meta-tahlili esa bosqichma-bosqich ishlovchi intellektual repetitor tizimlarining samaradorligi ($d \approx 0.76$) inson-repetitor darajasiga ($d \approx$

0.79) yaqinlashishini ko‘rsatgan. Katta til modellarining (KTM) paydo bo‘lishi bunday individual yondashuvni ommaviy auditoriyada amalga oshirish imkonini bermoqda. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 17-fevraldagi PQ-4996-son qarori bilan SI texnologiyalarini jadal joriy etish davlat siyosati darajasiga ko‘tarilgani ushbu muammoni ilmiy-metodik jihatdan hal etishni dolzarb qiladi.

Tadqiqot maqsadi — elektrodinamikani o‘qitishda SI vositalarini fizik qat’iylik va akademik halollik tamoyillarini saqlagan holda tizimli qo‘llash metodik modelini ishlab chiqish va uning samaradorligini baholash mezonlarini asoslash.

1. Elektrodinamikani o‘qitishdagi asosiy qiyinchiliklar

Kursning nazariy yadrosi differensial shakldagi Maksvell tenglamalari tizimidan iborat:

$$\nabla \cdot D = \rho, \nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}, \nabla \cdot B = 0, \nabla \times H = j + \frac{\partial D}{\partial t} \qquad (1)$$

Tahlil asosida qiyinchiliklarning uch guruhi ajratildi: (a) *matematik* — (1) tenglamalarning differensial va integral shakllari orasidagi o‘tishni (Gauss–Ostrogradskiy va Stoks teoremalari), muhitlar chegarasidagi shartlarni qo‘llashni tushunmaslik; (b) *vizual-fazoviy* — potensial, maydon chiziqlari, Poynting vektori $S = E \times H$ va elektromagnit to‘lqin tuzilishini uch o‘lchamda tasavvur qila olmaslik; (c) *konseptual* — maydonni modda kabi real fizik obyekt sifatida emas, faqat hisoblash vositasi sifatida qabul qilish. Masalan, talabalarning katta qismi elektrostatikadagi $\oint_L E \cdot dl = 0$ shartini induksiya hodisasiga ham ko‘chiradi, holbuki o‘zgaruvchan magnit maydonda

$$\oint_L E \cdot dl = -\frac{d\Phi_B}{dt} \neq 0 \qquad (2)$$

bo‘ladi va elektr maydon uyurmaviy xarakter kasb etadi. An’anaviy ma’ruza-amaliyot tizimi bunday individual xatolarga o‘z vaqtida javob bera olmaydi.

2. SI vositalarining tasnifi va fan mavzulariga moslash

Ta’limda qo‘llaniladigan SI vositalari funksiyasiga ko‘ra to‘rt guruhga ajratildi: (i) *generativ-dialogik* (KTM asosidagi repetitorlar, tushuntirish va savol generatsiyasi); (ii) *hisoblash-modellashtirish* (kod generatsiyasi, PINN, simulyatsiyalar); (iii) *analitik-diagnostik* (bilimlar holatini kuzatish, o‘zlashtirish trayektoriyasini bashorat qilish); (iv) *multimodal* (qo‘lyozma yechim va chizmalarni tanish, maydon tasvirlarini generatsiya qilish). 1-jadvalda ushbu vositalarning kurs mavzulariga moslashtirilgan qo‘llanish matritsasi keltirilgan.

1-jadval. Elektrodinamika mavzulari bo‘yicha SI vositalarini qo‘llash matritsasi

Mavzu	Asosiy qiyinchilik	SI vositasi	Kutilayotgan natija
Elektrostatika, Gauss teoremasi	Simmetriyadan foydalanish, oqim tushunchasi	KTM-repetitor + 3D vizualizatsiya kodi	Gauss sirtini mustaqil tanlash ko‘nikmasi
Laplas va Puasson tenglamalari	Chegaraviy masalalar, tasvirlar usuli	Relaksatsiya usuli kodi, PINN	Analitik va sonli yechimni solishtirish
Elektromagnit induksiya	Uyurmaviy elektr maydon	Sokratik dialog, interaktiv simulyatsiya	$\oint E \cdot dl \neq 0$ ma’nosini anglash

Elektromagnit to‘lqinlar	To‘lqin tuzilishi, energiya oqimi	FDTD simulyatsiyasi, animatsiya	$E \perp H \perp k$ ni vizual tasdiqlash
Muhitlar chegarasida qaytish va sinish	Frenel formulalari, qutblanish	FDTD + KTM orqali natijani tahlil qilish	Nazariya bilan sonli tajribani moslash
Nurlanish, dipol antennasi	Yaqin va uzoq zonalar	Kod generatsiyasi, yo‘nalganlik diagrammasi	$P \propto \omega^4$ qonuniyatini tekshirish

3. Taklif etilayotgan uch komponentli metodik model

1-komponent: Sokratik dialogga asoslangan SI-repetitor. Katta til modeli tayyor javob bermaydigan, balki yo‘naltiruvchi savollar orqali talabani mustaqil xulosaga olib keluvchi tizimli ko‘rsatma (system prompt) bilan sozlanadi. Masalan, “Nima uchun statik maydonda sirkulyatsiya nolga teng, induksiya hodisasida esa yo‘q?” savoli bo‘yicha repetitor talabani (2) ifoda va konservativ maydon tushunchasiga bosqichma-bosqich olib boradi. G. Kortemeyer tadqiqoti KTMlar kirish kursi fizikasi masalalarini qisman yecha olishini, ammo hisob va mantiqiy xatolarga yo‘l qo‘yishini ko‘rsatgan; shu sababli repetitor o‘qituvchi tomonidan tekshirilgan o‘zbek tilidagi masalalar va ma’ruzalar bazasi bilan cheklanadi (RAG — qidiruv bilan boyitilgan generatsiya), har bir javobda esa manbaga havola beriladi.

2-komponent: SI ko‘magidagi hisoblash laboratoriyasi. Talabalar SI yordamida Python tilida kod yozib, Maksvell tenglamalarini sonli yechadilar. Bir o‘lchamli holda Yee sxemasidagi FDTD usuli elektr va magnit maydonlarni fazo va vaqt bo‘yicha yarim qadamga siljigan to‘rlarda hisoblaydi:

$$E_x^{n+1}(k) = E_x^n(k) - \frac{\Delta t}{\varepsilon \Delta z}\left[H_y^{n+\frac{1}{2}}\left(k+\frac{1}{2}\right) - H_y^{n+\frac{1}{2}}\left(k-\frac{1}{2}\right)\right] \quad (3)$$

Kodning fizik to‘g‘riligini talabaning o‘zi tekshiradi: uch o‘lchamli sxemaning turg‘unlik (Kurant) sharti

$$c\Delta t \le \frac{\Delta x}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

bajarilishi, energiya saqlanishi va sonli natijaning normal tushishdagi Frenel koeffitsiyenti

$$r = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}, R = |r|^2 \quad (5)$$

bilan mosligi tekshiriladi. Bu SI tomonidan yozilgan kodga ko‘r-ko‘rona ishonishning oldini oladi va talabani “SI natijasining fizik verifikatori” roliga qo‘yadi. Ilg‘or bosqichda fizik qonunlar bilan cheklangan neyron tarmoqlar (PINN) qo‘llaniladi: tarmoq parametrlari θ yo‘qotish funksiyasini minimallashtirish orqali topiladi:

$$L(\theta) = \frac{1}{N_f}\sum_{j=1}^{N_f}\left(\left|\nabla \times E_\theta + \frac{\partial B_\theta}{\partial t}\right|^2 + \left|\nabla \times H_\theta - \frac{\partial D_\theta}{\partial t}\right|^2\right)_j + \lambda_b L_b(\theta) \quad (6)$$

bu yerda birinchi had Maksvell tenglamalarining kollokatsiya nuqtalaridagi qoldig‘i, L_b — chegaraviy va boshlang‘ich shartlar xatoligi. (6) ifodani tahlil qilish talabaga tenglamaning “fizik ma’nosi” bilan sonli yechim orasidagi bog‘liqlikni chuqur anglatadi.

3-komponent: Moslashuvchan diagnostika. Har bir tushuncha (masalan, “uyurmaviy maydon”) bo‘yicha talabaning o‘zlashtirish ehtimoli Bayes bilim kuzatuvi (BKT) modeli orqali yangilanadi. To‘g‘ri javobdan keyin:

$$P(L_t \mid \text{to‘g‘ri}) = \frac{P(L_t)(1-P(S))}{P(L_t)(1-P(S)) + (1-P(L_t))P(G)} \quad (7)$$

$$P(L_{t+1}) = P(L_t \mid \text{kuzatuv}) + (1 - P(L_t \mid \text{kuzatuv}))P(T) \quad (8)$$

bu yerda $P(S)$ — bilgan holda xato qilish (“slip”), $P(G)$ — taxmin bilan to‘g‘ri topish (“guess”), $P(T)$ — o‘rganishga o‘tish ehtimoli. $P(L) \geq 0.95$ bo‘lganda tushuncha o‘zlashtirilgan hisoblanadi, aks holda tizim talabaga qiyinchilik darajasi moslashtirilgan qo‘shimcha topshiriqlar trayektoriyasini tavsiya etadi. Ochiq javobli masalalarni SI dastlabki baholaydi va xatoning turini (matematik, konseptual, birlik/ishora) tasniflaydi, yakuniy baho esa o‘qituvchi tomonidan tasdiqlanadi.

4. Namunaviy dars ssenariysi

“Elektromagnit to‘lqinning ikki dielektrik chegarasida qaytishi va sinishi” mavzusidagi 80 daqiqalik amaliy mashg‘ulot quyidagi bosqichlardan iborat: (1) *muammoli vaziyat* (10 daq.): “Nima uchun suv yuzasidan qaytgan yorug‘lik qutblangan bo‘ladi?”; (2) *SI bilan Sokratik dialog* (15 daq.): talaba chegaraviy shartlardan E_τ va H_τ uzluksizligini keltirib chiqaradi; (3) *hisoblash tajribasi* (25 daq.): SI yordamida FDTD kodi tuziladi, talaba (4) shartni va (5) formula bilan mosligini tekshiradi; (4) *tahlil* (20 daq.): Bryuster burchagi $\tan\theta_B = n_2/n_1$ da p-qutblangan to‘lqinning qaytmasligi sonli tasdiqlanadi; (5) *refleksiya* (10 daq.): talaba SI javoblarida aniqlagan xatolarni qayd etadi. Bu bosqichlar Blum taksonomiyasining “qo‘llash”, “tahlil” va “baholash” darajalarini qamrab oladi.

5. Samaradorlikni baholash mezonlari

Modelning samaradorligini baholash uchun tajriba va nazorat guruhlarida kurs boshida va oxirida standartlashtirilgan konseptual test (CSEM) o‘tkazish va R. Heyk taklif etgan normallashgan o‘sish

$$\langle g \rangle = \frac{\langle S_{post} \rangle - \langle S_{pre} \rangle}{100\% - \langle S_{pre} \rangle} \tag{9}$$

ko‘rsatkichini solishtirish taklif etiladi ($\langle g \rangle < 0.3$ — past, $0.3 \leq \langle g \rangle < 0.7$ — o‘rta, $\langle g \rangle \geq 0.7$ — yuqori samaradorlik). Guruhlar orasidagi farqning amaliy ahamiyati Koen effekt o‘lchami bilan baholanadi:

$$d = \frac{\bar{x}_T - \bar{x}_N}{s_p}, s_p = \sqrt{\frac{(n_T-1)s_T^2+(n_N-1)s_N^2}{n_T+n_N-2}} \quad (10)$$

statistik ahamiyatlilik esa Styudent t-mezoni ($p < 0.05$) bilan tekshiriladi. Qo‘shimcha ko‘rsatkichlar sifatida laboratoriya hisobotlaridagi verifikatsiya sifati, SI javoblaridagi xatolarni aniqlash ulushi va talabalarning motivatsiya so‘rovnomasi natijalari olinadi.

6. Xavf-xatarlar va etik-me’yoriy tamoyillar

Asosiy xavf-xatarlar: KTM “gallyutsinatsiyalari” (ishora, koeffitsiyent va o‘lchov birliklaridagi xatolar, mavjud bo‘lmagan manbalarga havola); akademik halollik muammosi; talabaning mustaqil fikrlash ko‘nikmasining susayishi (kognitiv yukni SI ga ortiqcha topshirish); shaxsga doir ma’lumotlarning xavfsizligi; o‘zbek tilidagi ilmiy-terminologik korpusning yetarli emasligi. YuNESKOning generativ SI bo‘yicha tavsiyalari va “Shaxsga doir ma’lumotlar to‘g‘risida”gi qonun talablariga tayangan holda quyidagi tamoyillar taklif etiladi: (1) *inson nazorati* — yakuniy baho va tushuntirish uchun mas’uliyat o‘qituvchida qoladi; (2) *shaffoflik* — talaba SI dan qaysi bosqichda va qanday foydalanganini hisobotda ko‘rsatadi; (3) *verifikatsiya* — har bir SI natijasi fizik qonun yoki mustaqil hisob bilan tekshiriladi; (4) *og‘zaki himoya* — yozma ishlar qisqa suhbat bilan tasdiqlanadi; (5) *til suvereniteti* — o‘zbek tilidagi elektrodinamika terminlari bazasi va masalalar to‘plamini yaratish.

Xulosa. SI vositalari elektrodinamikani o‘qitishda o‘qituvchini almashtirmaydi, balki individual yondashuv, maydonlarni interaktiv vizuallashtirish va sonli modellashtirish imkoniyatlarini keskin kengaytiradi. Taklif etilgan “Sokratik repetitor – hisoblash laboratoriyasi – moslashuvchan diagnostika” modelining ilmiy yangiligi shundaki, unda SI bilim manbai sifatida emas, balki talaba fizik qonunlar asosida tanqidiy tekshiradigan obyekt sifatida qo‘llaniladi, natijada fanning mazmuni bilan bir qatorda ilmiy verifikatsiya madaniyati ham shakllanadi. Keyingi bosqichda modelni Buxoro davlat

universiteti fizika yo‘nalishi talabalarida pedagogik tajriba orqali (9)–(10) mezonlar asosida sinovdan o‘tkazish rejalashtirilgan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “Sun’iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-4996-son qarori. – Toshkent, 2021-yil 17-fevral.

2. O‘zbekiston Respublikasining “Shaxsga doir ma’lumotlar to‘g‘risida”gi O‘RQ-547-son Qonuni. – Toshkent, 2019-yil 2-iyul.

3. Bloom B.S. The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring // Educational Researcher. – 1984. – Vol. 13, № 6. – P. 4–16.

4. VanLehn K. The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems // Educational Psychologist. – 2011. – Vol. 46, № 4. – P. 197–221.

5. Maloney D.P., O’Kuma T.L., Hieggelke C.J., Van Heuvelen A. Surveying students’ conceptual knowledge of electricity and magnetism // Am. J. Phys. – 2001. – Vol. 69, № S1. – P. S12–S23.

6. Hake R.R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses // Am. J. Phys. – 1998. – Vol. 66, № 1. – P. 64–74.

7. Kortemeyer G. Could an artificial-intelligence agent pass an introductory physics course? // Phys. Rev. Phys. Educ. Res. – 2023. – Vol. 19. – 010132.

8. Kasneci E., Sessler K., Küchemann S. et al. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education // Learning and Individual Differences. – 2023. – Vol. 103. – 102274.

9. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G.E. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations // J. Comput. Phys. – 2019. – Vol. 378. – P. 686–707.

10. Yee K.S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media // IEEE Trans. Antennas Propag. – 1966. – Vol. 14, № 3. – P. 302–307.

11. Taflove A., Hagness S.C. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. 3rd ed. – Boston: Artech House, 2005. – 1006 p.

12. Corbett A.T., Anderson J.R. Knowledge tracing: Modeling the acquisition of procedural knowledge // User Model. User-Adapt. Interact. – 1994. – Vol. 4. – P. 253–278.

13. Wieman C.E., Adams W.K., Perkins K.K. PhET: Simulations that enhance learning // Science. – 2008. – Vol. 322. – P. 682–683.

14. UNESCO. Guidance for generative AI in education and research. – Paris: UNESCO, 2023. – 44 p.