MEXANIKA FANINI O‘QITISHDA SUN’IY INTELLEKT ASOSIDAGI VIDEO-TAHLIL VA MA’LUMOTLARDAN QONUNIYAT KASHF ETISH TEXNOLOGIYALARI

Fayziyeva Xolida Asadovna

Buxoro davlat universiteti, Fizika kafedrasi o‘qituvchi

Annotatsiya. Tezisda “Mexanika” fanini o‘qitishda talabalarning barqaror noto‘g‘ri tasavvurlarini bartaraf etish uchun sun’iy intellekt (SI) texnologiyalarini qo‘llashning “Kuzat – Modellashtir – Kashf et – Tekshir” metodik sikli taklif etiladi. Siklda kompyuter ko‘rishi asosidagi video-tahlil va smartfon datchiklari orqali real harakatni o‘lchash, sonli integrallash, siyrak regressiya (SINDy) va simvolik regressiya yordamida tajriba ma’lumotlaridan harakat tenglamasini “qayta kashf etish”, Gamilton neyron tarmoqlari orqali saqlanish qonunlarining rolini ko‘rsatish hamda Javob berish nazariyasi (IRT) asosidagi moslashuvchan baholash birlashtiriladi. Samaradorlikni baholashning miqdoriy mezonlari va SI dan foydalanishning metodik cheklovlari asoslab beriladi.

Kalit so‘zlar: mexanika, sun’iy intellekt, kompyuter ko‘rishi, video-tahlil, smartfon datchiklari, SINDy, simvolik regressiya, Gamilton neyron tarmog‘i, Verle sxemasi, FCI, Javob berish nazariyasi.

Dolzarbligi. Mexanika umumiy fizika kursining poydevori bo‘lib, talabaning fizik tafakkuri aynan shu bo‘limda shakllanadi. Biroq D. Hestenes va hammualliflari tomonidan ishlab chiqilgan “Kuch tushunchasi bo‘yicha test” (FCI) natijalari an’anaviy o‘qitishdan so‘ng ham talabalarning katta qismida “harakat uchun kuch kerak” (impetus nazariyasi), “katta jism kichik jismga kattaroq kuch bilan ta’sir qiladi” (Nyutonning uchinchi qonunini noto‘g‘ri tushunish) kabi aristotelcha tasavvurlar saqlanib qolishini ko‘rsatgan. R. Heyk 6000 dan ortiq talaba ishtirokidagi tadqiqotda an’anaviy kurslarda

normallashgan o‘sish o‘rtacha $\langle g \rangle \approx 0.23$, faol o‘qitish usullarida esa $\langle g \rangle \approx 0.48$ ekanini aniqlagan. Bugungi kunda har bir talabaning cho‘ntagida kamera va inersial datchiklarga ega smartfon mavjudligi hamda ochiq SI vositalarining rivojlanishi mexanikani “bo‘r va doska” fanidan real harakatni o‘lchaydigan, modellashtiradigan va undan qonuniyat kashf etadigan tadqiqot faniga aylantirish imkonini bermoqda. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ-4996-son qarori bilan belgilangan SI texnologiyalarini ta’limga joriy etish vazifasi ham ushbu yo‘nalishni dolzarb qiladi.

Tadqiqot maqsadi — mexanikani o‘qitishda SI vositalarini talabaning faol tadqiqotchilik faoliyatiga yo‘naltirilgan holda qo‘llash metodik modelini ishlab chiqish va uning samaradorligini baholash mezonlarini asoslash.

1. Taklif etilayotgan “Kuzat – Modellashtir – Kashf et – Tekshir” sikli

Model to‘rt bosqichdan iborat bo‘lib, har bir bosqichda SI talabaning o‘rniga ishlamaydi, balki uning tadqiqot quroli vazifasini bajaradi; har bosqich natijasi fizik qonunlar bilan verifikatsiya qilinadi (1-jadval).

1-jadval. Metodik siklning bosqichlari va ulardagi SI vositalari

Bosqich	SI vositasi	Talaba faoliyati	Fizik verifikatsiya
1. Kuzat	Kompyuter ko‘rishi (obyekt treking), smartfon akselerometri	Harakatni videoga oladi, $x(t)$, $y(t)$, $a(t)$ ma’lumotlarini oladi	O‘lchov xatoligi, masshtab va kadr chastotasini baholash
2. Modellashtir	KTM yordamida kod generatsiyasi	Harakat tenglamasini sonli	Energiya saqlanishi,

		integrallaydi (Eyler, Verle)	qadamga bog‘liqlik tahlili
3. Kashf et	SINDy, simvolik regressiya	Tajriba ma’lumotlaridan harakat tenglamasini topadi	O‘lchamlar tahlili, Nyuton qonunlari bilan solishtirish
4. Tekshir	IRT asosidagi moslashuvchan test, KTM-repetitor	Konseptual savollarga javob beradi, xatolarini tahlil qiladi	FCI bo‘yicha o‘sish, rubrika asosida baholash

2. Kuzatish: SI asosidagi video-tahlil va smartfon datchiklari

Talaba otilgan to‘p, tebranayotgan mayatnik yoki qiya tekislikdan dumalayotgan silindr harakatini smartfonda videoga oladi. Kompyuter ko‘rishi algoritmlari (obyektni aniqlovchi neyron tarmoqlar, korrelyatsion treking) har bir kadrda jism koordinatasini avtomatik aniqlaydi, piksel koordinatalari esa kadrdagi ma’lum uzunlikdagi etalon orqali metrga o‘tkaziladi. Natijada qo‘lda belgilash xatoligi kamayadi va yuzlab nuqtadan iborat trayektoriya olinadi. Model parametrlari p (masalan, g yoki qarshilik koeffitsiyenti) eng kichik kvadratlar usulida aniqlanadi:

$$\chi^2(p) = \sum_{i=1}^{N} \frac{(y_i - y(t_i;p))^2}{\sigma_i^2} \to \min \qquad (1)$$

Smartfonning akselerometri va giroskopi (masalan, phyphox ilovasi) orqali esa tezlanish va burchak tezlikni bevosita o‘lchash mumkin. Masalan, katta amplitudali mayatnik uchun talaba o‘lchangan davrni garmonik yaqinlashuv va aniqroq formula

$$T \approx 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1+\frac{\theta_0^2}{16}+\frac{11\theta_0^4}{3072}\right) \quad (2)$$

bilan solishtirib, “mayatnik davri amplitudaga bog‘liq emas” degan tasavvurning chegaraviy shartlarini o‘zi aniqlaydi.

3. Modellashtirish: SI ko‘magidagi sonli integrallash

Havo qarshiligi ta’sirida harakatlanuvchi jism uchun Nyutonning ikkinchi qonuni

$$m\frac{dv}{dt} = mg - k|v|v, v_t = \sqrt{\frac{mg}{k}} \quad (3)$$

ko‘rinishida bo‘lib, analitik yechimga ega emas. Talaba KTM yordamida (3) tenglamani sonli yechuvchi kod yozadi, lekin generatsiya qilingan kodni tanqidiy tahlil qilishi shart: oddiy Eyler usuli konservativ tizimlarda to‘liq energiyaning sun’iy o‘sishiga olib keladi, simplektik Verle sxemasi

$$x_{n+1} = 2x_n - x_{n-1} + a(x_n)\Delta t^2 + O(\Delta t^4) \quad (4)$$

esa energiyani uzoq vaqt davomida chegaralangan xatolik bilan saqlaydi. Talaba ikkala usulda $E = \frac{1}{2}mv^2 + U(x)$ ning vaqtga bog‘liqligini chizib, “to‘g‘ri ko‘ringan” kod fizik jihatdan noto‘g‘ri bo‘lishi mumkinligini amalda ko‘radi. Bu SI natijasini saqlanish qonunlari orqali verifikatsiya qilish ko‘nikmasini shakllantiradi.

4. Kashf etish: ma’lumotlardan harakat tenglamasini topish

Siklning eng innovatsion bosqichi — talabaning tajriba ma’lumotlaridan harakat qonunini mustaqil “qayta kashf etishi”. S. Brunton va hammualliflari taklif etgan nochiziqli dinamikani siyrak identifikatsiyalash (SINDy) usulida o‘lchangan holat vektori X va uning hosilasi $\dot{X}$ nomzod funksiyalar kutubxonasi

$\Theta(X) = [1, x, \dot{x}, x^2, \sin x, |x|\dot{x}, \dots]$ orqali ifodalanadi va eng kam sonli hadlarni saqlovchi koeffitsiyentlar topiladi:

$$\dot{X} = \Theta(X)\Xi, \Xi^* = \text{argmin}_\Xi \left\| \dot{X} - \Theta(X)\Xi \right\|_2^2 + \lambda \|\Xi\|_1 \qquad (5)$$

Masalan, so‘nuvchi mayatnik videosidan olingan ma’lumotlarga SINDy qo‘llanganda algoritm $\ddot{\theta} = -\frac{g}{l}\sin\theta - \gamma\dot{\theta}$ ko‘rinishidagi tenglamani topadi, talaba esa topilgan koeffitsiyentdan g ni hisoblab, mustaqil o‘lchangan l bilan solishtiradi. Xuddi shunday, M. Udresku va M. Tegmark ishlab chiqqan simvolik regressiya (AI Feynman) usuli o‘lchamlar tahlilidan foydalanib, mayatnik davri uchun $T \propto \sqrt{l/g}$ bog‘lanishni ma’lumotlardan tiklaydi. Bu bosqich talabaga fizik qonun — “darslikdagi tayyor formula” emas, balki tajriba va nazariya muloqoti natijasida topiladigan munosabat ekanini his qildiradi va aynan impetus kabi noto‘g‘ri tasavvurlarni ma’lumotlar asosida rad etish imkonini beradi.

Saqlanish qonunlarining fundamental rolini ko‘rsatish uchun Gamilton neyron tarmoqlari (HNN) qo‘llaniladi: tarmoq bevosita trayektoriyani emas, balki skalyar Gamilton funksiyasi $H_\theta(q, p)$ ni o‘rganadi, harakat esa kanonik tenglamalardan olinadi:

$$\dot{q} = \frac{\partial H_\theta}{\partial p}, \dot{p} = -\frac{\partial H_\theta}{\partial q} \qquad (6)$$

Oddiy neyron tarmoq bilan bashorat qilingan mayatnik trayektoriyasi vaqt o‘tishi bilan energiyasini “yo‘qotadi” yoki “orttiradi”, HNN esa energiyani saqlaydi. Bu taqqoslash talabaga simmetriya va saqlanish qonunlari (Nyoter teoremasi) zamonaviy SI arxitekturalarining ham asosida yotishini ko‘rsatadi va nazariy mexanika kursiga tabiiy ko‘prik bo‘ladi.

5. Tekshirish: IRT asosidagi moslashuvchan baholash

Konseptual bilimlarni baholashda Javob berish nazariyasining ikki parametrli modeli qo‘llaniladi: qobiliyat darajasi ϑ bo‘lgan talabaning j-topshiriqqa to‘g‘ri javob berish ehtimoli

$$P_j(\vartheta) = \frac{1}{1+\exp[-a_j(\vartheta - b_j)]} \quad (7)$$

ga teng, bu yerda a_j — topshiriqning farqlash qobiliyati, b_j — qiyinligi. Har bir javobdan so‘ng ϑ bahosi yangilanib, keyingi topshiriq axborot funksiyasi $I_j(\vartheta) = a_j^2 P_j(1 - P_j)$ maksimal bo‘ladigan qilib tanlanadi. Natijada test uzunligi qisqaradi, aniqligi esa ortadi. Noto‘g‘ri javoblar KTM-repetitorga uzatilib, u talabaning aynan qaysi noto‘g‘ri tasavvurga (masalan, “harakat yo‘nalishida doim kuch bor”) ega ekanini aniqlaydi va unga Sokratik savollar orqali kognitiv ziddiyat vaziyatini yaratadi.

6. Namunaviy laboratoriya mashg‘uloti

“Havo qarshiligi ta’sirida jismning tushishi” mavzusidagi 80 daqiqalik mashg‘ulot: (1) *bashorat* (10 daq.): talabalar bir xil o‘lchamli, lekin turli massali qog‘oz konuslarning tushish vaqtini oldindan taxmin qiladi; (2) *kuzatish* (15 daq.): tushish videoga olinadi va SI treking orqali $y(t)$ olinadi; (3) *modellashtirish* (20 daq.): (3) tenglama Verle usulida yechilib, (1) mezon bo‘yicha k topiladi; (4) *kashf etish* (20 daq.): SINDy kutubxonasiga v va v^2 hadlar kiritilib, qarshilik kuchining tezlikka chiziqli yoki kvadratik bog‘liqligi ma’lumotlardan aniqlanadi, natija Reynolds soni $Re = \rho v d/\eta$ bilan asoslanadi; (5) *refleksiya* (15 daq.): dastlabki bashorat natija bilan solishtiriladi, $v_t \propto \sqrt{m}$ qonuniyat tekshiriladi.

7. Samaradorlikni baholash va metodik cheklovlar

Samaradorlik tajriba va nazorat guruhlarida FCI testi asosida normallashgan o‘sish

$$\langle g \rangle = \frac{\langle S_{post} \rangle - \langle S_{pre} \rangle}{100\% - \langle S_{pre} \rangle} \quad (8)$$

hamda Koen effekt o‘lchami $d = (\overline{x}_T - \overline{x}_N)/s_p$ bilan baholanadi. Qo‘shimcha ravishda “SI natijasini verifikatsiya qilish kompetensiyasi” uchun to‘rt mezonli rubrika taklif etiladi: o‘lchamlar tahlili, saqlanish qonunlarini tekshirish, chegaraviy hollarni tahlil qilish va eksperimental noaniqlikni baholash. Metodik cheklovlar sifatida KTMlarning vektor yo‘nalishlari va ishoralarda xato qilishi, SINDy natijasining shovqin va kutubxona tanloviga sezgirligi, video-tahlilda perspektiva buzilishi hamda talabaning hisobni to‘liq SI ga topshirib qo‘yish xavfi ko‘rsatiladi. Ular SI dan foydalanish bosqichlarini hisobotda shaffof ko‘rsatish va og‘zaki himoya orqali kamaytiriladi.

Xulosa. Taklif etilgan “Kuzat – Modellashtir – Kashf et – Tekshir” sikli SI ni tayyor javob manbai sifatida emas, balki talabaning ilmiy tadqiqot quroli sifatida qo‘llaydi. Video-tahlil va smartfon datchiklari mexanikani real hayotiy harakat bilan bog‘laydi, SINDy va simvolik regressiya fizik qonunni ma’lumotlardan kashf etish tajribasini beradi, Gamilton neyron tarmoqlari saqlanish qonunlarining fundamental ahamiyatini namoyon etadi, IRT asosidagi baholash esa individual o‘qitish trayektoriyasini ta’minlaydi. Modelning ilmiy yangiligi — zamonaviy ilmiy SI usullarini (ma’lumotlardan dinamikani identifikatsiyalash, fizik cheklangan neyron tarmoqlar) umumiy fizika kursining laboratoriya amaliyotiga moslashtirishdadir. Keyingi bosqichda modelni Buxoro davlat universiteti fizika yo‘nalishi talabalarida pedagogik tajriba orqali sinovdan o‘tkazish rejalashtirilgan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

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. Hestenes D., Wells M., Swackhamer G. Force Concept Inventory // The Physics Teacher. – 1992. – Vol. 30, № 3. – P. 141–158.

3. 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.

4. Brown D., Cox A.J. Innovative uses of video analysis // The Physics Teacher. – 2009. – Vol. 47, № 3. – P. 145–150.

5. Staacks S., Hütz S., Heinke H., Stampfer C. Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox // Physics Education. – 2018. – Vol. 53, № 4. – 045009.

6. Brunton S.L., Proctor J.L., Kutz J.N. Discovering governing equations from data by sparse identification of nonlinear dynamical systems // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2016. – Vol. 113, № 15. – P. 3932–3937.

7. Udrescu S.-M., Tegmark M. AI Feynman: A physics-inspired method for symbolic regression // Science Advances. – 2020. – Vol. 6, № 16. – eaay2631.

8. Greydanus S., Dzamba M., Yosinski J. Hamiltonian neural networks // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2019. – Vol. 32.

9. Verlet L. Computer “experiments” on classical fluids. I. Thermodynamical properties of Lennard-Jones molecules // Phys. Rev. – 1967. – Vol. 159. – P. 98–103.

10. Lord F.M. Applications of Item Response Theory to Practical Testing Problems. – Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1980. – 274 p.

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

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