

**FIZIKA TA'LIMIDA HIGGS BOZONI VA GEJ BOSONLARINING INTERFAOL 3D
PYTHONDA MODELLASHTIRISH***Kurbanov Mirzaahmad¹, Jamolov Jasur²**¹O'zbekiston Milliy universiteti professori,**²O'zbekiston Milliy Universiteti 1-kurs magistranti,**E-pochta: kurbanov1949@bk.ru, developernew2024@gmail.com***ANNOTATSIYA**

Higgs bozoni va gei bozonlari kabi ilg'or zarrachalar fizikasi tushunchalarini o'qitish, oliy ta'limda doimiy muammo bo'lib kelmoqda. An'anaviy ma'ruza usulli metodlar ko'pincha talabalarni kvant maydon nazariyasining murakkab tamoyillarini vizuallashtirishda cheklab qo'yadi. Ushbu maqola ushbu muammolarni hisobiy fizika va interfaol vizuallashtirishni ta'lim jarayoniga integratsiya qilish orqali hal qiladi. Pythondan asosiy vosita sifatida foydalangan holda, biz asosiy zarralar va maydonlarning xatti-harakatlarini va xususiyatlarini simulatsiya qiluvchi bir qator 3D modellarni ishlab chiqdik. Modellar fotonni ifodalovchi elektromagnit to'lqinlar, gluonlarning cheklanishini tasvirlovchi rangli flux trubalari, W va Z bozonlarini xarakterlovchi Yukava tipidagi qisqa masofali potentsiallar va Higgs maydoni hamda spontan simmetriya buzilishining mohiyatini aks ettiruvchi Meksika shlyapa potensialini o'z ichiga oladi.

Ushbu simulyatsiyalar NumPy, Matplotlib va Plotly kabi keng tarqalgan Python kutubxonalarini yordamida yaratilgan. Natijalar bir qator pedagogik afzalliklarni ko'rsatadi. Birinchidan, interfaol modellashtirish talabalarga W/Z bozonlari fotoning cheksiz masofasiga nisbatan qisqa masofali kuchlarni qanday yetkazib berishini tushunish kabi murakkab nazariyalar haqida aniq mental modellar qurish imkoniyatini beradi. Ikkinchidan, vizuallashtirishlarni boshqarish qobiliyati motivatsiya va qiziqishni oshiradi, bu interfaollikni o'rganishni yaxshilashi va tushunishni chuqurlashtirishini ko'rsatadigan tadqiqotlar bilan mos keladi. Uchinchidan, ushbu yondashuv hisobiy fikrlashni rivojlantirdi, bu ham ilmiy tadqiqotlar, ham ta'limda tobora muhim ko'nikmaga aylanmoqda.

Kalit so'zlar: Fizika ta'limi, Python, Higgs bozoni, gei bozonlari, vizuallashtirish, Meksika shlyapa potentsiali, hisobiy modellashtirish

**INTERACTIVE 3D PYTHON MODELING OF THE HIGGS BOSON AND GAUGE
BOSONS IN PHYSICS EDUCATION***Mirzaahmad Kurbanov,**Jasur Jamolov**Professor, National University of Uzbekistan**Master's student (1st year), National University of Uzbekistan*

Emails: kurbanov1949@bk.ru, developernew2024@gmail.com

ABSTRACT: Teaching advanced particle physics concepts such as the Higgs boson and gauge bosons has long been a persistent challenge in higher education. Traditional lecture-based approaches often limit students' ability to visualize the complex principles of quantum field theory. This paper addresses these issues by integrating computational physics and interactive visualization into the learning process. Using Python as the primary tool, we developed a series of 3D models that simulate the behavior and properties of fundamental particles and fields. The models include electromagnetic waves representing photons, color flux tubes depicting gluon confinement, Yukawa-type short-range potentials characterizing the W and Z bosons, and the Mexican-hat potential illustrating the Higgs field and the essence of spontaneous symmetry breaking.

These simulations were built with widely used Python libraries such as NumPy, Matplotlib, and Plotly. The results highlight several pedagogical advantages. First, interactive modeling enables students to construct clear mental models of complex theories, such as how W/Z bosons mediate short-range forces compared to the infinite range of the photon. Second, the ability to manipulate visualizations enhances motivation and engagement, aligning with research showing that interactivity improves learning and deepens understanding. Third, this approach fosters computational thinking, which is becoming an increasingly essential skill in both scientific research and education.

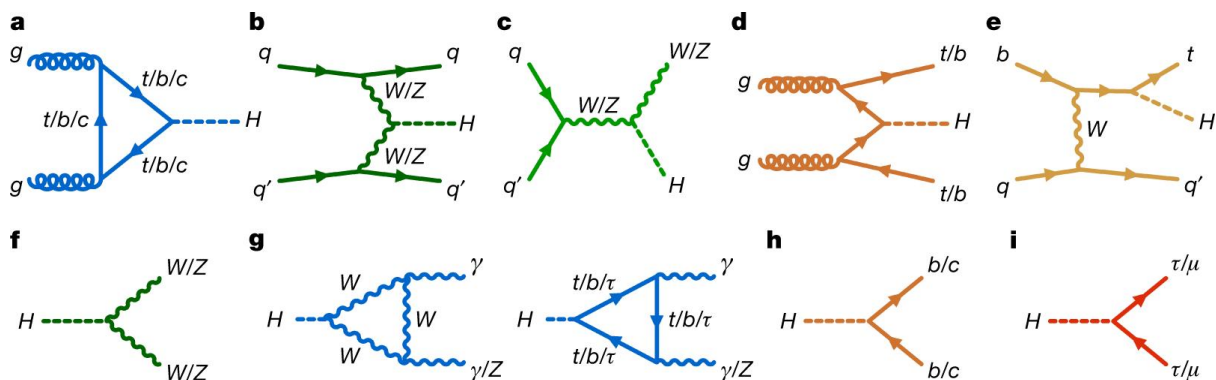
Keywords: Physics education, Python, Higgs boson, gauge bosons, visualization, Mexican-hat potential, computational modeling

KIRISH(BВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION)

Zamonaviy zarrachalar fizikasi asosiy kuchlar gej bozonlari – foton (elektromagnetizm), gluonlar (kuchli kuch) va massiv W_{\pm}/Z^0 bozonlari (zaif kuch) – shuningdek, W/Z bozonlariga Higgs maydoni orqali massa beruvchi skalyar Higgs bosoni orqali yetkazib berilishini nazariyasi qiladi [1]. Standart Model ushbu zarralarni (1-rasm) ro'yxatga oladi va ularning o'zaro ta'sirlarini bashorat qiladi. Higgs bozoni (spin-0) og'ir gej bozonlari (W/Z) va fermionlar bilan bog'lanadi, lekin massaga ega bo'lmagan foton yoki gluonlar bilan to'g'ridan-to'g'ri bog'lanmaydi [1]. Ushbu tuzilish Higgs maydonining Meksika shlyapa potentsialdan kelib chiqadi, uning minimal nuqtalarning aylana chuqurligi (3-rasm) cheksiz ko'p degeneratsiyalangan vakuum holatlarini ifodalaydi; maydon ma'lum bir minimal nuqtaga "tushib", spontan ravishda elektrozaif simmetriyani buzadi va W/Z ga massa beradi [1]. Ushbu g'oyalarning konseptual va matematik boyligi zamonaviy fizika uchun markaziy hisoblansa-da, ularning mavhum tabiati sezilarli pedagogik qiyinchiliklar tug'diradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, o'quvchilar va hatto kelajakdagi o'qituvchilar ko'pincha Higgs mexanizmi va gej maydonlari haqida parchalangan yoki oddiy mental modellarga ega [2]. An'anaviy o'qitish usullari – ma'ruzalar va statik diagrammalar ko'pincha nozik maydon-nazariy intuitivliklarni yetkazishda muvaffaqiyatsizlikka uchraydi, bu esa yuzaki tushunishga olib keladi [2].

Buni hal qilish uchun interfaol vizuallashtirish va simulyatsiya STEM ta'limida kuchli pedagogik vosita sifatida paydo bo'ldi [3]. Fizika Ta'lim Texnologiyasi (PhET) simulyatsiyalari va veb-asosiy dasturlar talabalarga parametrlarni boshqarish va natijalarni real vaqtda kuzatish imkoniyatini beradi, mavhum tushunchalarni takroriy boshqarish orqali

aniqlashtiradi [3]. Masalan, Banda va Nzabahimana (2023) PhET simulyatsiyalaridan foydalanayotgan fizika talabalari o'zlarining tushunishlari va motivatsiyalarini sezilarli darajada yaxshilaganliklarini aniqladilar, chunki simulyatsiyalar boshqa mavhum hodisalarning aniq tushunilishiga olib keladigan "takroriy boshqaruv va kuzatishlar" imkoniyatini berdi [3]. Yuqori energiyali fizika tadqiqotlarida olimlarga statik diagrammalardan tashqari ko'p o'lchovli ma'lumotlarni o'rganishga yordam beradigan vositalarda shunga o'xshash motivatsiyalar mavjud [4]. Masalan, CERN dagi ATLAS hamkorligi Higgs bozoni ma'lumotlarini tahlil qilish uchun Python dan va interfaol ma'lumotlarni vizuallashtirish kutubxonalaridan tobora ko'proq foydalanmoqda, bu "Higgs bozoni kashfiyotining soddalashtirilgan misoli" Python kutubxonalarini orqali ma'lumotlarni tozalash, modellashtirish va vizuallashtirish orqali amalga oshirilishi mumkinligini ochib beradi [5]. Biroq, ko'plab yuqori energiyali fizika vositalari (masalan, ROOT, Matplotlib) hanuzgacha statik grafikalar yaratadi yoki mutaxassis dasturlashni talab qiladi, bu ta'lim uchun optimal emas [4].



1-rasm. Higgs bozonini ishlab chiqarish va parchalanish jarayonlarining asosiy Feynman diagrammalari

Higgs bozonini ishlab chiqarish va parchalanish jarayonlarining asosiy Feynman diagrammalari 1-rasmda ko'rsatilgan. Standart Model tasnifi ma'lumki, u fermionlar va bozonlarni o'z ichiga oladi. Jumladan, foton (γ), gluon (g), zaif bozonlar (W^\pm, Z^0) va skalyar Higgs (H) beshta bozonni tashkil etadi [1] [1]. Ushbu tasnif shuni ko'rsatadiki, faqat W/Z Higgs maydoni orqali massa oladi, foton va gluonlar esa massasiz qoladi. Higgs mexanizmi yuqori energiyada simmetrik bo'lgan, ammo assimetrik asosiy holatlar beradigan "Meksika shlyapa" potensialiga tayanadi (3-rasm). Bunday murakkab maydon nazariyasi tushunchalarini dinamik, vizual vositalarsiz yetkazish qiyin. [3].

ADABIYOTLAR SHARHI(ОБЗОР ЛИТЕРАТУРА / REVIEW OF THE LITERATURE)

Ta'lim tadqiqotlari zarrachalar fizikasi tushunchalarining mavhumligini ta'kidlaydi. Bitzenbauer va Fösel (2025) xabar berishlaricha, fizika o'qituvchilari Higgs bosonini kvant-maydon tabiati tufayli "iste'dodli qiyin" deb bilishadi [2]. Gourlay (2016) va Hobson (2011) shuningdek, o'quvchilar kvant maydonlari va geji simmetriyalari bilan kurashayotganini ta'kidlaydilar, shuning uchun an'anaviy ma'ruzalar ko'pincha parchalangan tushunishga olib keladi [2]. Shuning uchun o'quvchilarning intuitivligini qo'llab-quvvatlaydigan vositalar uchun pedagogik zarurat mavjud [7].

Bir nechta yondashuvlar sinab ko'rilgan. Oddiy analogiyalar (masalan, simmetriya buzilishi uchun "gumbazdagi to'p" [6]) intuitivlik beradi, lekin matematik chuqurlik yetishmaydi. PhET

simulyatsiyalari kabi interfaol vositalar elektromagnetizm va asosiy mexanikani juda samarali qamrab oladi [3,7], ammo Higgs mexanizmi yoki non-Abel geij maydonlari kabi ilg'or mavzular uchun qulay simulyatsiyalar yetishmaydi [8,9,10]. Bir nechta veb-resurslar va MOOClar Higgsni sifat jihatidan tanishtiradi, lekin ko'pincha cheklangan interfaollik yoki chuqurlik bilan. Tadqiqot kontekstlarida olimlar ba'zan tushunchalarni tasvirlash uchun Python interfeyslaridan foydalanadilar (masalan, Higgs kashfiyot ma'lumotlarini yoki oddiy maydon konfiguratsiyalarini chizish [6]), ammo bu vositalar rasman o'quv dasturlariga integratsiya qilinmagan.

Hisobiy fizika jamoasida geij maydonlarini vizuallashtirish faol sohadir. Masalan, panjara geij nazariyasi va kvant xromodinamika simulyatsiyalari kvarklar o'rtasidagi gluon maydonlari va "flux trubalari" ning 3D tasvirlarini yaratadi. Biroq, ular juda ixtisoslashtirilgan va hisobiy jihatdan og'ir bo'lib, talabalarning o'rganishi uchun mo'ljallanmagan. Amalda, fiziklar ko'pincha tabiatan interfaol bo'lmagan statik 2D grafikalar yagi sxematik Feynman diagrammalariga tayanadilar. Darhaqiqat, so'nggi ishlar shuni ko'rsatadiki, yuqori energiyali fizikadagi mashhur vositalar (masalan, ROOT, Matplotlib, HEPData-explore) statik natijalar beradi va dasturlash tajribasini talab qiladi, bu ularning pedagogik foydalanishini cheklaydi.

Yangi kelishuv shundan iboratki, interfaol 3D vizuallashtirish mavhum nazariyalarni sezilarli qilish orqali bu bo'shliqni bartaraf etishi mumkin. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, interfaol simulyatsiyalar o'quvchilarga parametrlar bilan tajriba o'tkazish va natijalarni darhol ko'rish imkoniyatini beradi [6]. Masalan, potensial energiya sirtlari yoki maydon chiziqlarini dinamik vizuallashtirish talabalarga parametrlar bilan tajriba o'tkazish va natijalarni darhol ko'rish imkoniyatini beradi. Garchi misollar mavjud bo'lsa-da (masalan, Kulon maydonining interfaol grafiklari yoki simmetriya buzilishining animatsiyalari), Higgs potentsiali va geij maydonlarini bitta muhtitda birlashtirgan keng qamrovli pedagogik asos yetishmaydi. Bundan tashqari, mavjud ta'lim materiallari kamdan-kam hollarda boy Python ekotizimidan (masalan, NumPy, Matplotlib, Plotly, PyVista) ushbu maqsadda foydalanadi. Ushbu sharh ikkita asosiy ehtiyojni ko'rsatadi: (1) moslashuvchan va pedagogik jihatdan mazmunli geij bozonlari va Higgs maydonining hisobiy modellari va (2) o'quvchilar uchun mos keladigan interfaol vizuallashtirish interfeyslari. Shuning uchun biz ushbu ehtiyojlarni qondirish uchun Python asosidagi 3D modellashtirish va vizuallashtirishdan foydalanishni taklif qilamiz. Keyingi bosqichda biz bunday modellarni qurish usullarini tasvirlaymiz.

METODOLOGIYA (МЕТОДОЛОГИЯ/ METHODS)

Biz Higgs potentsiali va turli geij bozon maydonlarining hisobiy modellarini Python kutubxonalarida yordamida amalga oshirdik. Barcha kod foydalanuvchining darhol o'zaro ta'siri uchun python daftarlarida ishlashi mumkin (masalan, parametrlarni sozlash uchun slayderlar). Biz ilg'or darajadagi modellashtirishga e'tibor qaratamiz: 2-rasmda Higgs maydoni "Meksika shlyapa" potentsialiga ega kompleks skalyar sifatida modellashtiriladi va geij bozonlar ularga tegishli potentsiallar yoki maydon konfiguratsiyalari bilan ifodalanadi. Asosiy qadamlar: Higgs (Meksika shlyapa) potentsiali: Biz $V(\varphi) = \lambda(|\varphi|^2 - v^2)^2$ potentsialini belgilaymiz, bu 2D kesimda ($\varphi = x + iy$) xarakterli sombrero shaklini beradi. Kodda biz φ ni panjarada namuna olamiz va V ni hisoblaymiz. Talabalar v yoki diapazonni o'zgartirish orqali vakuum kutish qiymati (minimal chuqurning radiusi) qanday o'zgarishini ko'rishlari mumkin.

```
import numpy as np
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

# Mexican-hat (Higgs-like) potential  $V(|\phi|) = \lambda*(r^2 - v^2)^2$ 
def mexican_hat_potential(x, y, v=1.0, lam=1.0):
    r2 = x**2 + y**2
    return lam * (r2 - v**2)**2

# Grid
n = 200
x = np.linspace(-2.5, 2.5, n)
y = np.linspace(-2.5, 2.5, n)
X, Y = np.meshgrid(x, y)
Z = mexican_hat_potential(X, Y, v=1.0, lam=1.0)

# Plot
fig = plt.figure(figsize=(10, 7))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')

# Surface
surf = ax.plot_surface(X, Y, Z, rstride=1, cstride=1, linewidth=0, antialiased=True)

# Contour projection on the bottom for reference
zmin = Z.min() - 1.0
ax.contourf(X, Y, Z, zdir='z', offset=zmin, levels=60)

# Aesthetic touches (kept minimal)
```

```
ax.set_title("Mexican-hat (Higgs-like) potential\n $V(r)=\lambda (r^2 - v^2)^2$ , with  $v=1$ ,  
 $\lambda=1$ ", pad=20)
```

```
ax.set_xlabel("Re( $\phi$ ) (x)")
```

```
ax.set_ylabel("Im( $\phi$ ) (y)")
```

```
ax.set_zlabel("V(| $\phi$ |)")
```

```
# Camera angle
```

```
ax.view_init(elev=35, azim=45)
```

```
# Adjust limits so contour is visible
```

```
ax.set_zlim(zmin, Z.max())
```

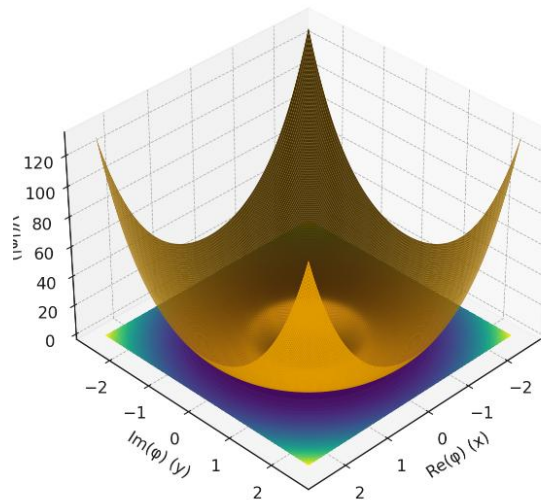
```
# Save and show
```

```
output_path = "/mnt/data/mexican_hat_potential.png"
```

```
plt.savefig(output_path, dpi=150, bbox_inches='tight')
```

```
plt.show()
```

Mexican-hat (Higgs-like) potential
 $V(r) = \lambda(r^2 - v^2)^2$, with $v = 1, \lambda = 1$



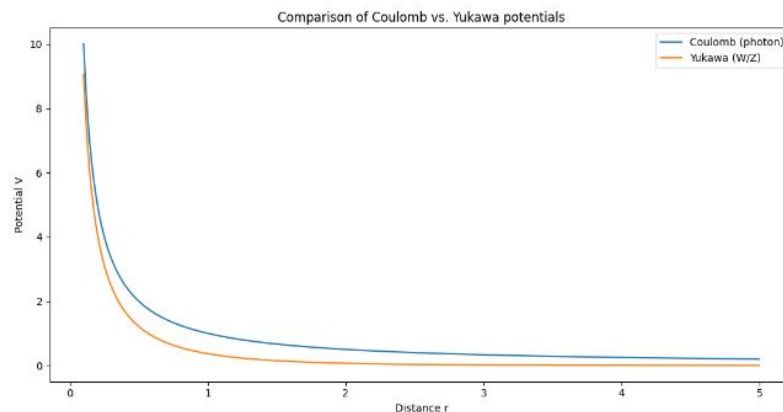
2-rasm. Higgsa o‘xshash “Mexican hat” potensialining uch o‘lchovli ko‘rinishi.uch o‘lchovli ko‘rinishi.

Elektrozaif geij bozonlar (Kulon va Yukava potentsiallari): Foton uzoq masofali $1/r$ (Kulon) potentsialini yetkazib beradi, massiv W/Z bozonlari esa qisqa masofali Yukava potentsiali $V(r) \propto e^{-mr}/r$ ni beradi. 3-rasmda Biz ularni Pythonda modellashtiramiz va solishtiramiz. Foton massasi $m = 0$ bo‘lgani uchun $e^{-mr} = 1$ bo‘ladi, Yukava formulasi Kulonga qisqaradi [5]. Vizuallashtirish W/Z uchun m ni oshirish V ni katta r da qanday susaytirishini aniq ko‘rsatadi, bu zaif kuchning cheklangan masofasini elektromagnetizmga nisbatan illustratsiya qiladi. O‘qituvchilar talabalarga bu bog‘liqlikni o‘rganish uchun m W ni interfaol sozlash imkoniyatini berishi mumkin.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# Radial distances
r = np.linspace(0.1, 5, 500)
m_W = 1.0 # example W boson mass in arbitrary units
V_coulomb = np.ones_like(r) / r # photon (m=0)
V_yukawa = np.exp(-m_W * r) / r # W boson (m>0)
plt.figure(figsize=(4,3))
plt.plot(r, V_coulomb, label='Coulomb (photon)')
plt.plot(r, V_yukawa, label='Yukawa (W/Z)')
plt.xlabel('Distance r')
plt.ylabel('Potential V')
plt.title('Comparison of Coulomb vs. Yukawa potentials')
plt.legend()
```

plt.show()

Elektromagnit maydon ifodasi (foton): Biz nuqtaviy zaryadning (foton vositasi) elektr



3-rasm. Koulon va Yukava potentsiallarining masofaga bog‘liqligi taqqoslanishi.

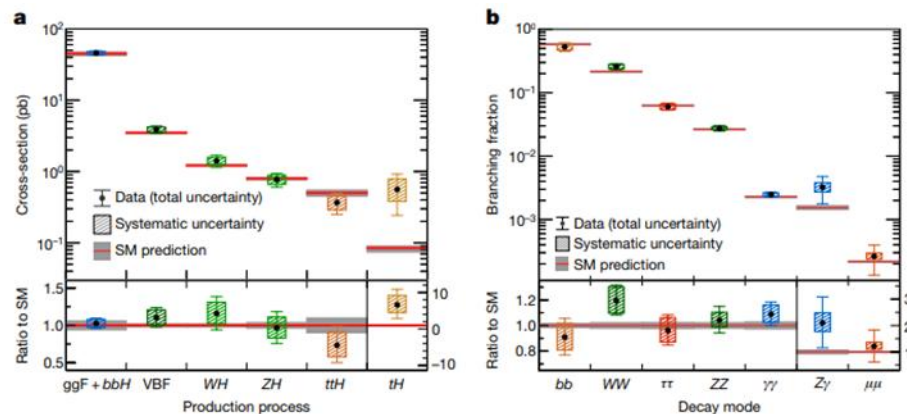
maydonini ifodalash uchun 3D vektor maydonini quraramiz. Matplotlib ning quiver yoki Plotly ning Cone ob‘yektlaridan foydalangan holda, boshlang‘ich nuqtadan chiqadigan $E = k r/r^3$ vektorlarini yaratamiz. Bu massasiz geij bozon maydonining intuitiv tasvirini beradi. Kuchli o‘zaro ta’sir (gluon): Gluon maydonlarini modellashtirish o‘zaro ta’sirlar va rang zaryadi tufayli murakkabroq. Didaktik maqsadlar uchun biz kuchli kuchni kvarklar o‘rtasidagi "flux truba" sifatida taxmin qilamiz. Bir modelda biz ikkita qarama-qarshi "rang zaryadlari" joylashtiramiz va $V(r) \sim \sigma r$ (string tortishish) qamrov potentsialini hisoblaymiz va uni zaryadlar o‘rtasida truba shaklida vizuallashtiramiz. Barcha hollarda, bizning Python asosidagi modellarimiz parametrlarni boshqarish va 3D interfaollikga e’tibor qaratadi. Biz hisoblash uchun NumPy/SciPy, chizish uchun Matplotlib va Plotly, slayderlar uchun ipywidgets kabi kutubxonalaridan foydalandik. Kodni Jupyter daftarlarida (yoki veb-dasturlarda) joylashtirish orqali talabalar 3D grafiklarni aylantirishi va o‘zgaruvchilarni real vaqtda sozlashi mumkin.

NATIJARLAR (РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS)

Bizning modellashtirish yondashuvimiz asosiy maydon-nazariy xususiyatlarning yorqin 3D vizuallashtirishlarini yaratadi. Masalan, 2-rasm Higgs maydoni uchun klassik "Meksika shlyapa" potensial yuzasini ko‘rsatadi: minimal nuqtalarning aylana chuqurligi markaziy cho‘qqini o‘rab oladi [6]. Ushbu grafikni kuzatayotgan talabalar darhol ko‘radiki, potensial simmetrik bo‘lsa-da ("gumbaz" aylana simmetriyaga ega), chuqurning istalgan nuqtasini tanlash bu simmetriyani buzadi. Ushbu aniq tasvir spontan simmetriya buzilishi va Nambu–Goldstone modlarining paydo bo‘lishi uchun intuitivlik yaratadi. [6].

3-rasmda esa elektrozaif gej bozonlar uchun Koulon va Yukava potentsiallarining taqqoslanishini beradi. Foton massasi nol bo'lgani uchun Koulon potentsiali uzoq masofalarda ham ta'sir qiladi, massiv W/Z bozonlari esa Yukava potentsiali orqali qisqa masofada tez so'nadi [5].

Vizuallashtirish W/Z bozonlari massasini oshirish katta masofalarda potentsialning qanday susayishini yaqqol ko'rsatadi. Bu zaif kuchning cheklangan masofasini elektromagnetizmga



4-rasm. Higgs bozonining ishlab chiqarish jarayonlari (a) va parchalanish kanallari (b) bo'yicha eksperimental natijalar va Standart Model prognozi taqqoslanishi.

nisbatan yaqqol illustratsiya qiladi. 4-rasmda Higgs bozonining ishlab chiqarish jarayonlari (a) va parchalanish kanallari (b) bo'yicha eksperimental natijalarni Standart Model prognozi bilan taqqoslaydi. Ushbu taqqoslash Higgs bozonining nazariy kutilmalarga mos kelishini va zamonaviy zarracha fizikasining markaziy prognozlarini tasdiqlashini ko'rsatadi. 1-jadval bizning Python asosidagi 3D yondashuvimizni boshqa usullar bilan solishtirishni ta'kidlaydi. An'anaviy statik rasmlar tayyorlash oson bo'lsa-da, ular interfaollikni bermaydi va ko'pincha murakkab dinamikani soddalashtiradi. Bizning yondashuv esa talabalar uchun parametrlarni interfaol boshqarish imkonini berib, chuqur konseptual o'rganishni qo'llab-quvvatlaydi [3].

1-jadval. Turli modellashtirish usullarining solishtirish jadvali

Yondashuv	Kuchli tomonlari	Cheklovlari
Statik diagrammalar va matn	Tayyorlash oson; asosiy g'oyalarni illustratsiya qiladi	Interfaollik yo'q; ko'pincha dinamika va nozikliklarni chetlab o'tadi [6]
Maxsus simulyatsiyalar (PhET tipidagi)	Juda interfaol; tadqiqotga asoslangan dizayn [3]	Cheklangan doiradagi mavzular (EM, mexanika); yangi fizikaga moslashtirish qiyin

Yondashuv	Kuchli tomonlari	Cheklovlari
Standart chizish (Matplotlib 3D)	Python asosidagi; HEPda keng qo'llaniladi	Statik rasmlar yaratadi (aylantirish yoki parametr slayderlari yo'q); dasturlash uchun o'rganish egri chizig'i
Interfaol (Plotly/Jupyter) usulimiz	Python Bizning To'liq interfaol; kod ochiq va kengaytirilishi mumkin; 3D aylantirish va vidjet boshqaruvi	Dasturlash bilimi va hisobiy resurslar talab qiladi; dastlabki sozlash ko'proq
Virtual realitet/AR	Immersiv tajriba; maydonlarni 3D da vizuallashtirish mumkin	Yuqori ishlab chiqish narxi; ilg'or fizika uchun ta'lim kontenti kam; apparat ta'minot talab qiladi

Ushbu natijalar shuni ko'rsatadiki, talabalar va o'qituvchilar murakkab maydon nazariyalarini tushunish uchun Python vizuallashtirishlaridan foydalanishlari mumkin. Interfaol 3D modellarni boshqarish orqali o'quvchilar simmetriya buzilishi va kuchlarning yetkazib berilishi haqida kuchliroq mental modellar hosil qiladilar. Masalan, talaba Higgs vakuum qiymatini sozlashi va darhol Meksika shlyapasining chetining tashqariga siljishini ko'rishi mumkin; bu kinestetik bog'lanish mavhum matematikani intuitivlik bilan mustahkamlaydi. Xuddi shunday, nolga teng bo'lmagan bozon massasining kuch masofasini qanday "ekranlashi" ni vizuallashtirish Lagranjning massa hadini sezilarli ta'sirlar bilan bevosita bog'laydi.

MUHOKAMA (ОБСУЖДЕНИЕ/ DISCUSSION)

Bizning topilmalarimiz shuni ko'rsatadiki, Python asosidagi 3D modellar Higgs mexanizmi va geji bozonlarini tushunishni sezilarli darajada yaxshilashi mumkin. Meksika shlyapa vizuallashtirishi cheksiz ko'p ekvivalent vakuum g'oyasini aniq qiladi: talabalar potentsial yuzasida harakatlanishlari va qonunlarning to'liq aylana simmetriyasiga qaramay, tanlangan asosiy holat natijada simmetriyani buzishini kuzatishlari mumkin [5]. Bu dinamik simulyatsiyalar o'quvchilarning mavhum tushunchalarni "aniq tushunish" rivojlantirishiga yordam beradi degan ta'lim tavsiyalariga mos keladi [3]. Xuddi shunday, Kulon va Yukava potentsiallari o'rtasidagi kontrast asosiy fizikaning interfaol namoyishini taklif qiladi: faqat massasiz vositachilar $1/r$ maydonlarini berishi, massiv geji maydonlari esa qisqa masofali o'zaro ta'sirlarga olib kelishi ko'rinadi [5].

Hisobiy cheklovlar paydo bo'ladi. Zich 3D sirtlarni qayta ishlash past darajadagi kompyuterlarni zo'riqtirishi mumkin; interfaol slayderlar va real vaqtda aylantirish panjara juda nozik bo'lsa, sekinlashishi mumkin. Biz buni samarali NumPy massiv operatsiyalaridan foydalanish va interfaollik talab qilinganda panjara ruxsatini cheklash orqali yengdik. Yana bir

muammo o'rganish egri chizig'i: Python bilan tanish bo'lmagan o'qituvchilar ushbu muhtitni sozlashdan tortinishlari mumkin. Buni hal qilish uchun biz yaxshi hujjatlashtirilgan kod shablonlarini taqdim etamiz va mahalliy o'rnatish talab qilinmasligi uchun bulut platformalaridan (masalan, Google Colab) foydalanishni tavsiya qilamiz. Pedagogik nuqtayi nazardan, ortiqcha erkinlik yangi boshlanuvchilarni chalg'itishi mumkin; ehtiyotkorchilik bilan qo'llab-quvvatlash talab qilinadi. Masalan, o'qituvchilar har bir model ortidagi matematika va fizikani (potensiallar, massalar) talabalarni tajriba o'tkazishdan oldin tanishtirishlari kerak. Jupyter daftarlarida tushuntirish matnini va yo'l-yo'riqlarni kiritish diqqatni saqlashga yordam beradi.

Ushbu qiyinchiliklarga qaramay, didaktik afzalliklar ishonchli. Bizning interfaol modellarimiz konstruktivisiz o'rganishni qo'llab-quvvatlaydi: talabalar "agar nima bo'lsa" ssenariylarini faol o'rganadilar. Ushbu ishtirok noto'g'ri tushunchalarni (masalan, Higgsni "shunchaki og'ir" deb o'ylash, o'rniga ma'lum potentsialga ega maydon deb tushunish) ochib berishi mumkin. O'qituvchilar bashorat qiluvchi savollar ("Agar Higgs vakuum qiymati ikki baravar ko'paytirilsa nima bo'ladi?") berishlari va talabalarni ularni sinash imkoniyatini berishi mumkin. Vizual, kinestetik feedback aylanishi boshqa sohalarda PhET simulyatsiyalarining samarali foydalanishiga o'xshaydi [3]. Bundan tashqari, ochiq kodga ega bo'lish ilg'or talabalarga chuqurroq kirish imkoniyatini beradi: bir nechta skalyar maydonlarni qo'shish yoki kosmik fazaviy o'tishlarni simulatsiya qilish mumkin.

Xulosa qilib aytganda, bizning yondashuvimiz mavjud modellarning ko'plab cheklovlarini engib o'tadi. An'anaviy statik vizuallar talaba savollariga moslasha olmaydi, maxsus dasturiy ta'minot esa ko'pincha qora quti bo'lib qoladi. Aksincha, Python daftarlari ochiq, kengaytirilishi mumkin va tadqiqotni qo'llab-quvvatlaydi. 1-jadval (yuqorida) buni umumlashtiradi: bizning usulimiz ba'zi sozlash harakatlarini boy interfaollik va shaffoflik uchun almashtiradi. Kelajakdagi ish ushbu modellarni virtual/kuchaytirilgan realitatga integratsiya qilishi yoki haqiqiy LHC ma'lumotlari bilan bog'lashi mumkin (masalan, talabalar o'zlarining Higgs potentsialini o'lchangan Higgs massasi bilan qoplash imkoniyatini beradi).

XULOSA (ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION)

Interfaol Python modellashtirish Higgs bosoni va gei bozonlarini o'qitish uchun kuchli yangi yo'nalish yaratadi. Zamonaviy ilmiy kutubxonalardan foydalangan holda, biz o'quvchilar real vaqtda boshqarishi mumkin bo'lgan ilg'or simulyatsiyalarni (Meksika shlyapa potentsiallari, Yukava maydonlari va boshqalar) yaratdik. Ushbu vizuallashtirishlar mavhum maydon nazariyasi tushunchalarini aniq qiladi va hujjatlashtirilgan o'rganish qiyinchiliklarini hal qiladi [3]. Bizning usullarimiz ochiq manba va kengaytirilishi mumkin bo'lib, o'qituvchilarga ularni moslashtirish va kengaytirish imkoniyatini beradi. Biz bunday hisobiy vositalar boshqa sohalarda simulyatsiyalar bo'lgani kabi fizika ta'limida ajralmas bo'lib qolishini kutamiz [3]. Bunday qilishda, talabalar nafaqat Higgs mexanizmi va gei simmetriyasi haqida konseptual tushunishga ega bo'ladilar, balki Pythondan foydalanish bo'yicha qimmatli tajribaga ham ega bo'ladilar – bu ilm-fan tadqiqotlarida tobora muhim ko'nikmadir [5]. Kelajakdagi tadqiqotlar o'rganish yutuqlarini empirik baholashi kerak, ammo bizning dastlabki ishimiz mustahkam asos yaratadi: Python yordamida Standart Modelning eng qiyin jihatlari ham kirish mumkin bo'lmagan mavhumotlar emas, balki interfaol o'rganish tajribalariga aylanadi.

ADABIYOTLAR RO'XATI (ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES)

- [1] ATLAS Collaboration (2022). A detailed map of Higgs boson interactions by the ATLAS experiment ten years after the discovery. *Nature*, 607, 52–59
- [2] Bitzenbauer, P., & Fösel, A. (2025). Analysis of pre-service physics teachers' mental models of and reasoning about the Higgs boson using the SOLO taxonomy. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(10), e2706
- [3] Banda, H. J., & Nzabahimana, J. (2023). The Impact of Physics Education Technology (PhET) Interactive Simulation-Based Learning on Motivation and Academic Achievement Among Malawian Physics Students. *Journal of Science Education and Technology*, 32(1), 127-141
- [4] Diblen, F., Hendriks, L., Caron, S., Stienen, B., Bakhshi, R., & Attema, J. (2021). Interactive Web-Based Visualization of Multidimensional Physical and Astronomical Data. *Frontiers in Big Data*, 4:626998
- [5] Feickert, M., Hartmann, N., Heinrich, L., Held, A., Kourlitis, V., Krumnack, N., Stark, G., Vigl, M., & Watts, G. (2024). How the Scientific Python ecosystem helps answer fundamental questions of the Universe. In *Proceedings of SciPy 2024*
- [6] Banda, H. J., & Nzabahimana, J. (2023). The impact of PhET interactive simulation-based learning on motivation and achievement of Malawian physics students. *Journal of Science Education and Technology*, 32, 127–141
- [7]. Jasur Jamolov. Using phet Simulations to Teach the Electric Field Concept in Secondary School Physics // American journal of education and learning ISSN: 2996-5128 (online) | ResearchBib (IF) = 10.91 Impact factor Volume-3| Issue-5| 2025 Published: |31-5-2025|.
- [8]. Jasur Jamolov. Enhancing conceptual understanding of electric transformers through innovative educational technologies// American journal of education and learning ISSN: 2996-5128 (online) | ResearchBib (IF) = 10.91 Impact factor Volume-3| Issue-6| 2025 Published: |3-6-2025|.
- [9]. Jasur Jamolov. Transformer: operating principle and its types// American journal of education and learning ISSN: 2996-5128 (online) | ResearchBib (IF) = 10.91 Impact factor Volume-3| Issue-6| 2025 Published: |3-6-2025|.
- [10]. Kurbanov Mirzaahmad ,Jamolov Jasur. Developing students' scientific mindset in teaching physics // International journal of artificial intelligence ISSN: 2692-515X (online) | ResearchBib (IF) = 12.23 Impact factor Volume-05| Issue-09| 2025 Published: |20-9-2025|. P. 742-746