

FIZIKADA TOPOLOGIYANING AHAMIYATI: KVANT MAYDON NAZARIYASI VA KOSMOLOGIYA MISOLIDA

Annotatsiya: Ushbu maqolada topologiyaning zamonaviy fizika fanidagi ahamiyati tahlil qilingan. Xususan, kvant maydon nazariyasida solitonlar, monopollar va topologik fazalar nazariy asoslari, shuningdek kosmologiyada koinotning global shakli, qora tuynuklarning topologiyasi va kosmik mikrotolqin fon nurlanishi bilan bog'liq masalalar yoritilgan. Maqola fizika va matematikaning uzviy bog'liqligini ko'rsatib, fundamental ilmiy tadqiqotlarda topologiyaning metodologik rolini asoslab beradi.

Kalit so'zlar: Topologiya, kvant maydon nazariyasi, kosmologiya, soliton, monopollar, qora tuynuk, homotopiya, fundamental guruh, invariant, torus, kvant Hall effekti, topologik faza, Einshteyn nazariyasi, fazoviy model, global tuzilma, matematik fizika, nazariy fizika.

Тиллабаев И.Н.
Старший преподаватель кафедры математики
Наманганский государственный университет

ЗНАЧЕНИЕ ТОПОЛОГИИ В ФИЗИКЕ: НА ПРИМЕРЕ КВАНТОВОЙ ПОЛЕВОЙ ТЕОРИИ И КОСМОЛОГИИ

Аннотация: В данной статье проанализировано значение топологии в современной физике. В частности, рассмотрены солитоны, монополи и топологические фазы в квантовой теории поля, а также вопросы, связанные с глобальной формой Вселенной, топологией чёрных дыр и космическим микроволновым фоновым излучением в космологии. Работа демонстрирует неразрывную связь физики и математики и обосновывает методологическую роль топологии в фундаментальных научных исследованиях.

Ключевые слова: Топология, квантовая теория поля, космология, солитон, монополи, чёрная дыра, гомотопия, фундаментальная группа, инвариант, тор, квантовый эффект Холла, топологическая фаза, теория Эйнштейна, пространственная модель, глобальная структура, математическая физика, теоретическая физика.

Tillabayev I.N.
Senior Lecturer, Department of Mathematics
Namangan State University

THE SIGNIFICANCE OF TOPOLOGY IN PHYSICS: THE CASE OF QUANTUM FIELD THEORY AND COSMOLOGY

Annotation: This article analyzes the significance of topology in modern physics. In particular, it explores solitons, monopoles, and topological phases in quantum field theory, as well as issues related to the global shape of the universe, black hole topology, and cosmic microwave background radiation in cosmology. The study highlights the intrinsic connection between physics and mathematics, emphasizing the methodological role of topology in fundamental scientific research.

Keywords: Topology, quantum field theory, cosmology, soliton, monopoles, black hole, homotopy, fundamental group, invariant, torus, quantum Hall effect, topological phase, Einstein theory, spatial model, global structure, mathematical physics, theoretical physics.

Matematika va fizika fanlari o'rtasidagi aloqalar ilmiy taraqqiyotning eng muhim omillaridan biridir. Topologiya-fazolar va ularning uzluksiz o'zgarishlari haqidagi matematikaning sohasi sifatida nafaqat sof matematik muammolarni, balki fizikaning fundamental masalalarini ham hal qilishda muhim rol o'ynaydi. Ayniqsa, kvant maydon nazariyasi va kosmologiyada topologik usullar ilmiy izlanishlarning ajralmas qismiga aylangan. Mazkur maqolada topologiyaning kvant maydon nazariyasi va kosmologiyadagi qo'llanilishi, shuningdek, uning fizika uchun ahamiyati tahlil qilinadi[1].

Kvant maydon nazariyasida topologiya

Kvant maydon nazariyasi zamonaviy fizikaning asosiy bo'limi bo'lib, unda zarrachalar va maydonlarning fazoviy va vaqt bo'yicha xatti-harakati o'rganiladi. Bu sohada topologiya fundamental ahamiyatga ega bo'lib, murakkab fazoviy tuzilmalarning barqarorligini izohlash imkonini beradi[2].

Solitonlar va monopollar-bu kvant maydon nazariyasida yuzaga keladigan barqaror topologik obyektlardir. Ular oddiy differensial tenglamalar yordamida emas, balki homotopiya nazariyasi va topologik invariantlar asosida tasniflanadi. Masalan, fundamental guruhlar va yuqori darajali homotopiya guruhlari maydonlarning turli xil topologik holatlarini aniqlashda qo'llaniladi.

Shuningdek, topologik fazalar tushunchasi ham kvant maydon nazariyasida muhimdir. Topologik fazalar oddiy fazaviy o'tishlardan farqli ravishda, uzluksiz deformatsiyalar orqali ham o'zgarmaydi. Bu hodisa kvant Hall effekti va topologik izolyatorlarning nazariy asosini tashkil qiladi.

Kosmologiyada topologiya

Kosmologiya koinotning tuzilishi, kelib chiqishi va rivojlanishini o'rganadigan fan sohasi bo'lib, unda topologiya alohida o'rin tutadi. Einshteynning umumiy nisbiylik nazariyasi fazo-vaqtning lokal geometrik xossalarini aniqlab bersa, topologiya koinotning global shaklini tushuntirishda muhimdir.

Masalan, torus shaklidagi koinot modeli mavjud bo'lib, unda koinot 3-o'lchamli yopiq fazo (T^3) sifatida qaraladi. Bunday topologik model cheksiz koinot tushunchasiga muqobil nazariy yondashuv hisoblanadi. Kosmik mikroto'lqin fon nurlanishi (CMB) ham koinotning global topologik tuzilishi haqida ma'lumot bera oladi.

Qora tuynuklarning topologiyasi ham kosmologiyada o'rganiladigan dolzarb yo'nalishdir. Qora tuynukning gorizont shakli, uning barqarorligi va kvant effektlari topologik usullar orqali tadqiq etiladi[3,5].

Amaliy qo'llanilishlar

Topologiya fizikadagi ahamiyati nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham katta. Masalan, kvant Hall effekti va yuqori haroratli superto'kazuvchanlik hodisalari topologik fazalarga asoslanadi. Bu hodisalar elektronlarning kvant mexanik xatti-harakatini chuqur tushunish imkonini beradi.

Shuningdek, qora tuynuklarning topologiyasi ularning barqarorligi va evolyutsiyasi haqidagi nazariy modellarni yaratishda yordam beradi. Kosmik torlarning topologik tuzilishi esa koinotning dastlabki bosqichlarida yuzaga kelgan jarayonlarni tushuntirishda qo'llaniladi.

Topologiya nafaqat fazolarni matematik tahlil qilish imkonini beradi, balki fizik jarayonlar, kvant zarrachalarining barqarorligi va koinotning global tuzilishi kabi masalalarni ham izohlashga xizmat qiladi[4,6].

Teorema: Gauss–Bonnet teoremasi

Agar M yopiq (chegarasiz) ikki o'lchovli silliq sirt bo'lsa, u holda:

$$\int_M K \, dA = 2\pi \chi(M)$$

Bu yerda:

K – sirtning Gauss egriqligi,

dA – sirt yuzasining elementi,

$\chi(M)$ – sirtning Euler xarakteristikasi.

Teorema sirtning geometriyasi (egriqlik) va uning topologiyasi (Eylerni xarakteristikasi) o'rtasidagi uzviy bog'liqlikni ko'rsatadi[1].

Isbot g'oyasi (soddalashtirilgan)

Riemann geometriyasida vektorlarni parallel ko'chirish tushunchasi ko'rib chiqiladi. Sirt bo'ylab yopiq kontur bo'yicha vektor parallel ko'chirilganda, uning burilishi $\int K \, dA$ bilan bog'liq bo'ladi. Ushbu burilish Euler xarakteristikasi $\chi(M)$ bilan uzviy bog'liq ekanligi topologik natija sifatida isbotlanadi. To'liq texnik isbot Riemannian geometriya va differensial formalar nazariyasi asosida amalga oshiriladi.

Fizikadagi ahamiyati

- Kvant maydon nazariyasida sirtlarning topologik invariantlari zarrachalarning mavjudligi va maydon konfiguratsiyasini aniqlashda ishlatiladi.
- Kosmologiyada Gauss–Bonnet teoremasi fazoviy modellarning shakli va egriqligini global xususiyatlar bilan bog'laydi.
- Teorema umumiy nisbiylik nazariyasining Gauss–Bonnet gravitatsiyasi deb ataladigan umumlashmalariga asos bo'ladi.

Shunday qilib, teorema fizik jarayonlarni matematik jihatdan tushunish va modellashtirishda asosiy vositalardan biriga aylanadi.

Misolalar

1. Sfera (kosmologik model sifatida)

Sfera S^2 uchun $\chi(S^2)=2$, Gauss egriqligi $K=1/R^2$. Integral:

$$\int_{S^2} K \, dA = (1/R^2) \cdot 4\pi R^2 = 4\pi = 2\pi \cdot 2$$

Bu natija kosmologiyada yopiq koinot modelini ifodalaydi.

2. Torus (kvant maydon nazariyasi va kondensatsiyalangan modda fizikasi)

Torus T^2 uchun $\chi(T^2)=0$. Har qanday silliq torus uchun: $\int_{T^2} K \, dA = 0$

Bu natija kvant Hall effekti va topologik fazalarni tushuntirishda ishlatiladi.

3. Kosmologiyada yopiq fazo modeli. Agar koinot ko'p ulangan fazo sifatida qaralsa (masalan, Poincaré sferasi), Euler xarakteristikasi $\chi(M)$ turli qiymatlarni oladi. Bu koinotning cheksiz yoki chekli ekanligini aniqlashga yordam beradi. $\chi(M)=V-E+F$ bu yerda:

- **V** – cho'qqilar (vertices), **E** – qirralar (edges), **F** – yuzalar (faces) soni.

Masalan: Sfera uchun $\chi(S^2)=2$, Torus uchun $\chi(T^2)=0$

Demak, Eyler xarakteristikasi -Eyler tomonidan kashf etilgan asosiy topologik invariant[4].

Xulosa

Yuqoridagi tahlillardan ko‘rinadiki, topologiya zamonaviy fizikaning ajralmas qismi bo‘lib, u kvant maydon nazariyasi va kosmologiyaning fundamental muammolarini hal qilishda muhim vosita hisoblanadi. Topologik metodlar yordamida solitonlar, monopollar, qora tuynuklar va koinotning global tuzilishi kabi murakkab obyektlar izohlanadi. Shuningdek, topologiyaning amaliy qo‘llanilishi kvant texnologiyalari, supero‘tkazuvchanlik va boshqa sohalarda yangi imkoniyatlar yaratmoqda. Kelajakda topologik fizika yo‘nalishidagi tadqiqotlar yanada kengayib, fundamental ilm-fan va amaliy texnologiyalar rivojiga xizmat qiladi. Gauss–Bonnet teoremasi fizikada sirtlarning lokal geometriyasini global topologiya bilan bog‘laydi. Kvant maydon nazariyasi, qora tuynuklar va kosmologiyada teorema yordamida zarrachalar va koinotning topologik tuzilmalari tushuntiriladi. Bu teorema fizik jarayonlarni matematik jihatdan modellashtirish va tahlil qilishda muhim vositadir.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1]. Jost, J. Riemannian Geometry and Geometric Analysis. *Springer*. 2017.
- [2]. Frankel, T. The Geometry of Physics: An Introduction. Cambridge University Press. 2011.
- [3]. Witten, E. Quantum Field Theory and the Jones Polynomial. *Communications in Mathematical Physics*, 121(3), 351–399. 1989.
- [4]. Тиллабаев И. О слабо почти совершенных отображениях суперпаракомпактных пространств //Международной научно-практической конференции «современные проблемы прикладной математики и информационных технологий» Uzbekistan, Bukhara-2022 Том-1, 128-129 стр.
- [5]. IN Tillabaev On some characterization of superparacompactness, strong paracompactness and complete paracompactness// Международный научный журнал № 19(100), часть 1 «Новости образования: исследование в XXI веке» Марта, 2024/3/10 г. Том 2. № 9.

[6]. Тиллабаев И. Построение кубатурных формул на прямоугольнике повторным интегрированием //Innovations in Technology and Science Education. – 2022. – Т. 1. – №. 1. – С. 248-252.