# YUQORI ENERGIYALAR FIZIKASI VA O'TA YUQORI ENERGIYALI ASTROFIZIKA

**E. Dustmurodov**
O'zR FA Yadro fizikasi instituti
Toshkent davlat transport universiteti
eldordustmurodov@tstu.uz

**J.J. Xursanjonov**
**D.H. Mahmudova**
**D.X. Bekov**
Toshkent davlat transport universiteti
https://doi.org/10.5281/zenodo.20152021

**Annotatsiya.** Hozirgi tadqiqot dasturlari — CERN dagi Large Hadron Collider (LHC), AQShdagi Fermi National Accelerator Laboratory (FNAL) hamda boshqa faoliyat yo'nalishlari qisqacha ko'rib chiqiladi. Zarralar tezlatgichlari hamjamiyati bilan kosmik nurlar tadqiqotchilari hamjamiyati o'rtasida bog'lovchi bo'g'in vazifasini bajaruvchi kosmik nurlar bilan bog'liq dasturlarga alohida e'tibor qaratiladi. Shuningdek, AMS-02 sun'iy yo'ldosh dasturi ham qayd etiladi.

**Kalit so'zlar:** Standard Model, Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO), Dark Energy, Dark Matter.

## 1. Kirish

Biz nimani bilamiz va muammolarimiz nimadan iborat? Yaqinda CERN da Higgs Boson kashf etildi, bu esa butun dunyoda katta e'tirof va qiziqish uyg'otdi. Elementar zarralarning Standard Model hozirgi vaqtda yaxshi shakllantirilgan va (hech bo'lmaganda nazariyotchilar nuqtai nazaridan) yaxshi tushunilgan.

Gravitatsion to'lqinlar endi Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) da kuzatilgan. Ushbu observatoriya aslida ikkita detektordan iborat: biri Vashington shtatida, ikkinchisi esa Luiziana shtatida joylashgan. Hozirda neytrino uchta "flavor" (tur) va uch xil massaga ega ekani ma'lum bo'lib, u ushbu holatlar orasida ossillyatsiyalanadi. Dark Matter hanuzgacha jumboq bo'lib qolmoqda. Qorong'i moddaning mavjudligi galaktikalardagi yulduzlarning orbitalarini, shuningdek, uzoq astronomik obyektlardan kelayotgan yorug'lik nurlarining galaktika yaqinidan o'tganda egilishini tushuntirish uchun zarurdir. Hozircha qorong'i moddaning tabiati haqida hech qanday aniq ma'lumot yo'q. Mashhur gipotezaga ko'ra, u massasi katta va juda kuchsiz o'zaro ta'sirlashuvchi elementar zarralar oqimidan iborat, biroq bunday zarralarning mavjudligi hali eksperimental ravishda tasdiqlanmagan. Dark Energy masalasi esa bundan ham sirliroq ko'rinadi. Koinotdagi galaktikalar go'yoki qandaydir kuch ta'sirida tezlanish bilan uzoqlashayotgandek tuyuladi, ammo bu kuchning tabiati noma'lumligicha qolmoqda.

Mazkur simpozium uchun yanada muhim savol — kosmik nurlarning kelib chiqishi: ular qayerdan keladi va qanday mexanizmlar ularni tezlashtiradi? Galaktikalar markazlaridagi portlashlar, to'qnashuvlar yoki boshqa noodatiy hodisalar yaxshi nomzod hisoblanadi, biroq hali ko'p narsalarni aniqlash kerak. Shuni ta'kidlash kerakki, yaqinda AQSh va Yevropada bir nechta muhim konferensiyalar va uchrashuvlar bo'lib o'tdi. Avgust boshida Chikagoda "ICHEP 2016" — yuqori energiyalar fizikasi bo'yicha 38-xalqaro konferensiya tashkil etildi. Shuningdek, yaqinda Michigan shtatida "Cosmo-16" uchrashuvi

bo‘lib o‘tdi va unda qorong‘i modda hamda qorong‘i energiya mavzulari faol muhokama qilindi. 2016-yil iyun oyida Fermi National Accelerator Laboratory foydalanuvchilari tashkilotining yillik yig‘ilishi o‘tkazildi. Undagi ma’ruzalar laboratoriyaning joriy faoliyati haqida yaxshi tasavvur berdi. CERN nashri bo‘lgan CERN Courier jurnalining yaqindagi sonida Large Hadron Collider dagi to‘rtta asosiy eksperiment — CMS, ATLAS, LHCb va ALICE tadqiqot dasturlari haqida foydali sharhlar keltirilgan.

**2. Fermilab va CERN: joriy faoliyat hamda loyihalar**

Markaz massalar tizimida 2 TeV energiyali antiproton-proton kollayderi bo‘lgan Tevatron faoliyati yakunlangach, Fermi National Accelerator Laboratory asosiy e’tiborni myuon va neytrino fizikasi tadqiqotlariga qaratdi. Shunga qaramay, fiziklar Tevatron’da yig‘ilgan katta hajmdagi ma’lumotlar asosida muhim ilmiy natijalarni olishda davom etmoqdalar.

Bundan tashqari, Fermilab fiziklarining ko‘pchiligi CERN dagi Large Hadron Collider eksperimentlarida, xususan CMS loyihasida faol qatnashmoqda. Fermilabda ushbu eksperiment uchun yirik ma’lumotlarni tahlil qilish dasturi va mos hisoblash infratuzilmasi mavjud. Fermilab xodimlari, shuningdek, Pierre Auger Observatory kabi kosmik nurlar dasturlarida hamda qorong‘i modda va qorong‘i energiyani izlash loyihalarida faol ishtirok etmoqda. Laboratoriya AQSh Energetika vazirligi tomonidan boshqarilib va moliyalashtirilishiga qaramay, unda boshqa davlatlardan ham ko‘plab fiziklar faoliyat yuritadi. Rossiyalik olimlar katta hissa qo‘shayotgan dasturlardan biri — SeaQuest eksperimentidir. Unda energiyasi 120 GeV bo‘lgan proton nuri ishlatiladi va nishon nuklonlarining antikvark tuzilishini o‘rganishda Drell–Yan process jarayoni qo‘llanadi. Suyuq vodorod, suyuq deyteriy va boshqa materiallardan tayyorlangan nishonlarda nuklon “dengizi”dagi $\bar{d}$ va $\bar{u}$ antikvarklari orasidagi asimmetriya o‘lchanadi. Ushbu qurilmada amalga oshirilayotgan loyihalardan biri spin effektlarini o‘rganish uchun qutblangan proton nurini olishga qaratilgan. Biroq yuqori energiyalarda qutblangan nurni hosil qilish juda murakkab masala hisoblanadi. Past energiyalarda proton nurini oson qutblash mumkin, ammo bir necha GeV energiyali halqasimon tezlatgichlarda qutblanishni saqlab qolish qiyin. Protonlar o‘zgaruvchan gradientli halqa bo‘ylab ko‘p marta aylanganda qutblanish yo‘qoladi. 1978-yilda Ya. S. Derbenev va A. M. Kondratenko (o‘sha paytda Novosibirskda ishlagan) qutblanishni saqlash usulini taklif qildilar. Yechim proton spinini har bir aylanish davomida ikki marta 180° ga aylantirishdan iborat edi. Shuni ta’kidlash kerakki, gorizontal tezlatgichlarda spinlar asosiy magnit maydoniga parallel ravishda vertikal yo‘nalgan bo‘ladi. Derbenev spin aylanishini toroidal magnit yordamida amalga oshirish mumkinligini ko‘rsatdi va bunday magnitlar qo‘llanganda tezlashtirish jarayonida qutblanish saqlanib qoladi. Ernest Courant bunday magnitlarni “Sibir ilonlari” (“Siberian Snakes”) deb atagan.

**2.1. CERN LHC dasturi**

Large Hadron Collider da proton nurlari 7,5 TeV gacha energiya bilan to‘qnashadi va markaz massalar tizimida taxminan 13 TeV energiyali to‘qnashuvlarni hosil qiladi. Bu energiyasi taxminan 100 PeV bo‘lgan kosmik protonlarning statsionar protonlar bilan o‘zaro ta’siriga tengdir. Qurilmada to‘rtta asosiy eksperiment ishlamoqda. CMS — LHC eksperimentlari orasida eng kattasi hisoblanadi. Ushbu hamkorlik doirasida W va Z bozonlarining yanada og‘ir analoglari, shuningdek, ma’lum oltita kvarkka mos keluvchi butun spinli og‘irroq zarralar qidirilmoqda. LHCb b-kvarklar va boshqa og‘ir kvarklarni batafsil o‘rganish bilan shug‘ullanadi. Detektor modernizatsiyasi rejalashtirilganiga qaramay, tadqiqotlar yangilangan LHC’da yanada yuqori aniqlik va murakkablik bilan davom ettiriladi. ATLAS ham CMS ga o‘xshash juda katta detektor bo‘lib, deyarli butun fazoviy burchak (taxminan $4\pi$ steradian) bo‘yicha yakuniy holatlarni qayd etadi. Uning joriy vazifalaridan biri qorong‘i modda mavjudligining dalillarini izlashdir. Astronomik kuzatuvlar qorong‘i

moddaning mavjudligini tasdiqlaydi, ammo uning tabiati noma'lumligicha qolmoqda. Agar qorong'i modda LHC uchun yetarli bo'lgan massaga ega kuchsiz o'zaro ta'sirlashuvchi zarralardan iborat deb faraz qilinsa, unda ATLAS ma'lumotlari ularning hosil bo'lish belgilarini izlash imkonini beradi. ALICE eksperimentining asosiy maqsadi protonlarning qo'rg'oshin yadrolari bilan to'qnashuvlarini (p–Pb) o'rganish va ularni proton–proton (p–p) to'qnashuvlari bilan reaksiya mahsulotlari taqsimoti, zarralar oqimlari va boshqa xususiyatlar bo'yicha taqqoslashdan iborat. LHCb dagi kabi, ALICE detektori ham ATLAS va CMS ga qaraganda kichikroq fazoviy burchakni qamrab oladi, biroq olinayotgan natijalar juda muhim va katta ilmiy qiziqish uyg'otadi.

**3. Myuon fizikasi**

Hozirgi vaqtda Fermi National Accelerator Laboratory shug'ullanayotgan tadqiqot yo'nalishlaridan biri — myuon fizikasi hisoblanadi. Taxminan 120 GeV energiyagacha tezlashtirilgan protonlar statsionar nishon bilan o'zaro ta'sirlashganda pionlar hosil qiladi; o'rtacha yashash vaqti taxminan 28 nanosekund bo'lgan ushbu pionlar uchish davomida myuonlarga parchalanadi. Myuonlarning yashash vaqti taxminan 2,2 mikrosekundni tashkil etadi. Hosil bo'lgan myuon oqimini tutib olish, boshqarish va eksperimentlarda qo'llash mumkin. Masalan, hozirda Fermilabda myuonning "g–2" kattaligini (myuonning giromagnit nisbatidan 2,000 ni ayirgandagi qiymatni) yanada aniqroq o'lchash dasturi amalga oshirilmoqda. Bunday o'lchovlar ilgari Brookhaven National Laboratory hamda CERN da 1960-yillardan boshlab o'tkazilgan bo'lsa-da, Fermilabda yanada yuqori aniqlikka erishish mumkin. Brukxeyvandan saqlovchi halqaning doimiy magniti Fermilabga ko'chirildi va avvalgidek ushbu o'lchovlarni bajarishda foydalaniladi.

Myuon fizikasi istiqbolli yo'nalishlaridan yana biri sifatida "myuon kollayderi" yaratish imkoniyati muhokama qilinmoqda. Musbat va manfiy myuonlar yig'ilib, saqlovchi halqaga injeksiya qilinadi; u yerda ular qarama-qarshi yo'nalishlarda aylanadi va ularning o'zaro ta'siri xususiyatlari batafsil o'rganiladi. Elektron-pozitron kollayderlari kabi, bunday to'qnashuvlarda ham qiziqarli og'ir mezonlar hosil qilinadi va tadqiq etiladi.

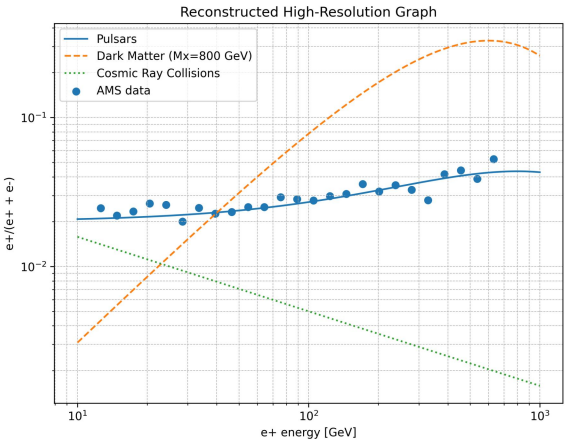
**4. Neytrino fizikasi**

Zamonaviy tadqiqotlarga ko'ra, neytrinoning uchta "flavori" mavjud: elektron neytrino, myuon neytrino va tau-neytrino. Shuningdek, uch xil neytrino massasi mavjud bo'lib (har biri taxminan 2 eV dan kichik), massa holatlari va flavor holatlari bir-biriga mos kelmaydi.

Neytrinolar turli holatlar orasida ossillyatsiyalanadi. Masalan, Quyoshdagi yadroviy reaksiyalar natijasida hosil bo'ladigan neytrinolar elektron neytrinolar hisoblanadi, biroq Yerda qayd etilganda Quyosh oqimining faqat uchdan bir qismigina elektron neytrinolarni tashkil qiladi; shu bilan birga myuon va tau-neytrinolar ham taqqoslanadigan miqdorda kuzatiladi. Neytrinoning uchta massa holati va uchta flavor holati o'rtasidagi murakkab bog'lanishni tushunish noodatiy va murakkab masala hisoblanadi. Hozirgi neytrino eksperimentlarining maqsadi — ushbu tuzilma va ossillyatsiya mexanizmlarini tushuntirishdir. Fermi National Accelerator Laboratory neytrino manbai sifatida qatnashayotgan ikkita neytrino eksperimenti mavjud. NOvA eksperimenti pionlarning parchalanishi natijasida hosil bo'ladigan myuon neytrinolaridan foydalanadi. Pionlar esa energiyasi 120 GeV bo'lgan proton nuri o'zaro ta'siridan paydo bo'ladi. Neytrinolar Fermilab hududidagi massasi taxminan 300 tonna bo'lgan detektor orqali o'tib, Minnesota shtatining shimolidagi shaxtada joylashgan, 810 km masofadagi 14 000 tonnalik detektorga yo'naltiriladi. Detektorlarda o'lchami 4×6 sm bo'lgan, suyuq sintillyator bilan to'ldirilgan PVX yacheykalar qo'llaniladi. Agar Fermilabdagi detektor deyarli faqat myuon neytrinolarini qayd etsa, Minnesota detektorida esa uchala flavorning aralashmasi kuzatiladi.

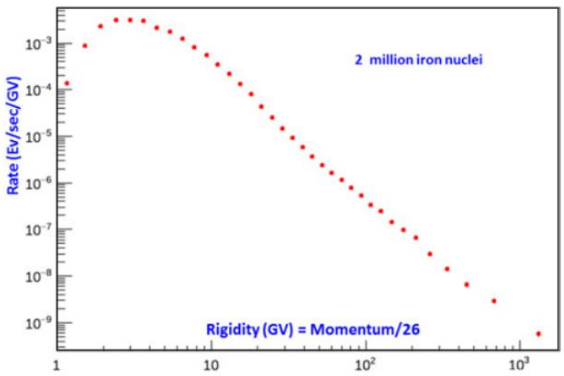
NOvA ma’lumotlari neytrinoning massa va flavor holatlarini bog‘lovchi matritsalar parametrlarini aniqlashtirish imkonini beradi.

Suvosti neytrino detektorlarining rivojlanishining davomi sifatida IceCube eksperimenti yaratildi. Bu Antarktida muzlari ichida (Janubiy qutb yaqinida) joylashgan, hajmi taxminan bir kub kilometr bo‘lgan fotodetektorlar massividir. Detektor 5160 ta fotodetektordan iborat matritsa bo‘lib, ularning har biri bir nechta fotoelektron ko‘paytirgichlarga ega sferik modul hisoblanadi. Ular muz qatlamining 1,5 km dan 2,5 km gacha bo‘lgan chuqurligiga joylashtirilgan. Yer atmosferasi bilan kosmik nurlar o‘zaro ta’siri natijasida hosil bo‘ladigan neytrinolar qayd qilinishiga qaramay, asosiy maqsad — kosmik neytrinolarni bevosita ularning manbalaridan kuzatishdir. Chunki kosmik nurlarning aynan neytrino komponentasi galaktik magnit maydonlari tomonidan og‘dirilmaydi va yadroviy o‘zaro ta’sirlarda yutilmaydi. 2012-yildan beri IceCube 30 dan 2000 TeV gacha energiyalar oralig‘ida 54 ta neytrino hodisasini (myuonlar va elektron kaskadlar bo‘yicha) qayd etdi. Oldin muhokama qilingan nazariyalardan biri “steril neytrino”ning mavjud bo‘lish ehtimoli edi. Bu — uchta ma’lum tur kabi flavor xususiyatiga ega bo‘lmagan va ossillyatsiyalarda qatnashmaydigan neytrino hisoblanadi. Bir qator eksperimentlar bunday neytrinolarni aniqlashga harakat qilgan, biroq ishonchli tasdiqlar olinmagan. IceCube ning so‘nggi natijalari esa ularning mavjudligiga qarshi kuchli salbiy dalillarni taqdim etdi.



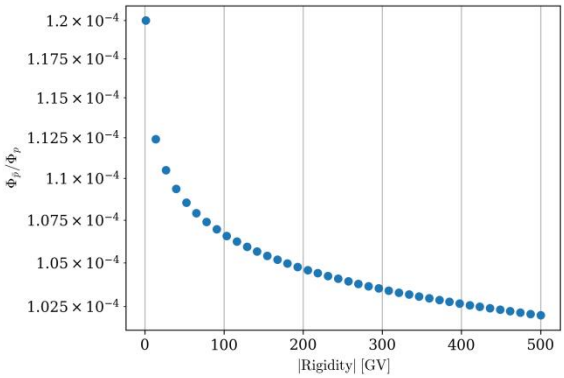

**1-rasm.** 10 dan 1000 GeV gacha energiyalar diapazonida elektronlar va pozitronlarning umumiy oqimidagi pozitronlar ulushi: e+/(e−+e+)e^+/(e^- + e^+)e+/(e−+e+).

nurlar yadrolarining massasi, energiyasi va elektr zaryadini o‘lchashga mo‘ljallangan magnit spektrometr birlamchi kosmik nurlar tabiatini chuqurroq tushunish uchun samarali vosita hisoblanadi. Shu sababli NASA Ting tomonidan taklif etilgan konsepsiyani




ma’qulladi.

**3-rasm.** 400 GeV gacha energiyalar diapazonida antiprotonlar oqimining protonlar oqimiga nisbati.




**4-rasm.** AMS-02 eksperimentida o‘lchangan 2 million temir yadrosi oqimi — energiya (impuls)ning yadro zaryadi Z=26 ga bo‘lingan qiymatiga bog‘liqligi, 1 GeV dan 1 TeV gacha diapazonda.

U International Space Station bortiga joylashtirilishi kerak bo‘lgan ushbu spektrometrni yaratishga kirishdi. Bu kosmosda allaqachon mavjud bo‘lgan yirik orbital platforma edi. Samuel Ting o‘z detektorini “Anti-Matter Spectrometer” (antimodda spektrometri), qisqacha AMS deb nomladi. Biroq NASA Amerika kosmik dasturi nomida “Anti” so‘zidan foydalanishni qo‘llab-quvvatlamadi va loyiha “Alpha Magnetic Spectrometer” deb qayta nomlandi. Shunga qaramay, AMS qisqartmasi saqlab qolindi. Detektor doimiy magnitdan foydalanadigan magnit spektrometr hisoblanadi. Dastlab o‘tao‘tkazuvchi magnitdan foydalanish imkoniyati ko‘rib chiqilgan edi, biroq ma’lumotlarni uzoq yillar davomida yig‘ish zarurati elektromagnitdan foydalanishni amaliy jihatdan noqulay qilib qo‘ydi. Ting guruhi avvalroq uchirilgan va loyiha amalga oshirilishi mumkinligini ko‘rsatgan AMS-01 prototipini yaratdi. Keyinchalik AMS-02 yaratildi va uchirildi. U hozirgacha Xalqaro kosmik stansiyada ishlamoqda hamda ma’lumot yig‘ishni davom ettirmoqda. AMS-02 ning o‘lchamlari taxminan 3 × 4 × 5 metr, massasi esa qariyb 7,5 tonnani tashkil qiladi.

Detektor tarkibiga quyidagilar kiradi:

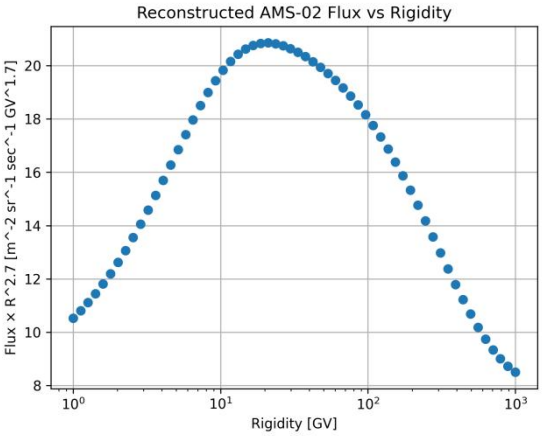
- o‘tish nurlanishi detektori (Transition Radiation Detector),
- elektromagnit kalorimetr,
- kremniyli treker,
- uchib o‘tish vaqtini o‘lchash tizimi (Time of Flight),
- Cherenkov halqali tasvirlash detektori.

Detektorning umumiy qayd etish kanallari soni taxminan 300 000 tani tashkil qiladi. Ma’lumotlarni qayta ishlash 650 ta bort kompyuteri yordamida amalga oshiriladi. AMS-02 qurilmasining batafsil tavsifi Physical Review Letters jurnalidagi maqolada keltirilgan [1]. Shuni ham ta’kidlash kerakki, AMS-02 xalqaro kollaboratsiyasi yuzdan ortiq fiziklarni o‘z ichiga oladi va ular ilmiy maqolalarning hammualliflari hisoblanadi. Shu sababli ushbu ishlarga havola berilganda odatda loyiha rasmiy vakili sifatida faqat Tingning nomi ko‘rsatiladi. Yana bir muhim jihat shundaki, Samuel Ting ning asosiy ish joyi Massachusetts Institute of Technology bo‘lsa-da, u uzoq yillardan beri CERN (Jeneva, Shveytsariya) bilan yaqindan hamkorlik qilib keladi. U avval elektron-pozitron kollayderi LEP dagi L3 eksperimenti vakili bo‘lgan.

Hozirgi vaqtda CERN ning Prevessen hududidagi maydonida AMS loyihasi foydalanayotgan bino mavjud bo‘lib, unda ma’lumotlarni yig‘ish va tahlil qilish ishlari olib

boriladi. Mazkur matnga AMS-02 eksperimentining natijalarini aks ettiruvchi 1–4-rasmlar ilova qilingan. Ular quyidagilarni o‘z ichiga oladi:

pozitronlar ulushi,
protonlar spektri,
proton va antiproton oqimlari nisbati,




temir yadrolari spektri.**2-rasm.** 300 million hodisa tahliliga asoslangan holda, birlamchi kosmik nurlardagi proton oqimining 1 GeV dan 1,8 TeV gacha bo‘lgan qattiqlik (rigidlik) diapazonidagi yuqori aniqlikdagi o‘lchovi.

**5. Qorong‘i modda**

Shubhasiz, zamonaviy zarralar fizikasi va kosmologiyasining eng katta jumboqlaridan biri — Dark Matter ning tabiati hisoblanadi. Qorong‘i moddaning mavjudligi galaktikalardagi yulduzlar dinamikasini kuzatishlardan kelib chiqadi: galaktikalarning tashqi hududlaridagi yulduzlarning orbital tezliklari bevosita kuzatilayotgan massadan ko‘ra kattaroq galaktik massa mavjudligini talab qiladi. Bundan tashqari, galaktika yaqinidan o‘tayotgan uzoq obyektlarning yorug‘lik nurlarining egilishi ham ko‘rinadigan massadan ortiqroq massa mavjudligini ko‘rsatadi. Bu “yetishmayotgan” massani eng sodda tarzda massasi katta, ammo kuchsiz o‘zaro ta’sirlashuvchi zarralar populyatsiyasi mavjudligi bilan tushuntirish mumkin. Bunday zarralar kuchli yoki elektromagnit o‘zaro ta’sirga ega bo‘lmay, faqat juda kuchsiz ta’sirlashsa (neytrinoga o‘xshab), ular galaktikalar dinamikasiga ta’sir ko‘rsatishi mumkin, biroq oson kuzatiladigan xususiyatlarga ega bo‘lmaydi. Ammo agar bu zarralar hech bo‘lmaganda kuchsiz o‘zaro ta’sirlarda qatnashsa, unda neytrinolar kabi ular ham vaqti-vaqti bilan kuzatiladigan o‘zaro ta’sir hodisalarini yuzaga keltirishi kerak. Zarralar fiziklari tomonidan olib borilayotgan zamonaviy qorong‘i modda qidiruvlari aynan shu g‘oyaga asoslanadi.

**6. AMS-02**

Mazkur simpozium ma’ruzalariga bevosita kiritilmagan qiziqarli dasturlardan biri — AMS-02 eksperimenti bo‘lib, u International Space Station bortiga o‘rnatilgan. Bu Samuel Ting boshchiligidagi yirik ilmiy loyiha bo‘lib, u Massachusetts Institute of Technology (MIT) professori hisoblanadi. Tingning dastlabki maqsadi katta atom raqamiga ega og‘ir yadrolarda modda va antimoddaning teng ulushlarda mavjud yoki mavjud emasligini tekshirish edi. Elektromagnit nurlanishlarni (yorug‘lik, rentgen nurlari, infraqizil nurlanish, radioto‘lqinlar va boshqalar) kuzatish manbaning modda yoki antimoddadan iboratligini ajratib bera olmaydi. Ting galaktikalar bir-biridan juda uzoq masofalarda joylashganligi sababli, ulardan ayrimlari antimoddadan tashkil topgan bo‘lishi mumkinligini taxmin qildi. Bu holda, zaryadi va massasini aniqlash orqali yuqori energiyali kosmik nurlar yadrolarini o‘rganish birlamchi antimoddani aniqlash imkonini berardi. Kosmik nurlar tadqiqotchilari hamjamiyati

ushbu g‘oyaga skeptik munosabat bildirdi. Ularning fikricha, galaktikalar bir-biridan modda va antimodda annihilyatsiyasi effektlari kuzatilmaydigan darajada uzoq emas. Bunday jarayonlar, masalan, kuchli gamma-nurlanish manbalari ko‘rinishida namoyon bo‘lishi kerak edi.

Albatta, Koinotdagi modda va antimodda assimetriyasi muammosi hanuzgacha hal qilinmagan. Biroq kosmik Mazkur va boshqa natijalar taqdim etilgan tegishli ilmiy maqolalar adabiyotlar ro‘yxatida [2–7] keltirilgan.

**Adabiyotlar:**

1. S. C. C. Ting, Phys. Rev. Letters 110, 141102 (2013).
2. Дустмуродов Э. Э. и др. КОМПЬЮТЕРНО-УПРАВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ДЛЯ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ //UNIVERSAL JOURNAL OF MATHEMATICAL THEORY AND COMPUTER SCIENCES. – 2025. – Т. 3. – №. 31. – С. 11-15.
3. Hayrapetyan A. et al. Measurement of the production cross section of a Higgs boson with large transverse momentum in its decays to a pair of τ leptons in proton-proton collisions at s= 13TeV //Physics Letters B. – 2024. – Т. 857. – С. 138964.
4. Дустмуродов Э. Э., Махмудова Д. Х., Файзиев Т. Б. ИССЛЕДОВАНИЕ АДРОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНО ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ //UNIVERSAL JOURNAL OF TECHNOLOGY AND INNOVATION. – 2025. – Т. 3. – №. 30. – С. 33-38.
5. Дустмуродов Э. Э., Махмудова Д. Х., Юркевич Н. П. Образование частиц при релятивистском столкновении тяжелых ядер на LHC с помощью GEANT4. – 2023.
6. Юлдашев Б. С. и др. Понимание бозона Хиггса с помощью LheC //SCIENTIFIC JOURNAL. – 2020.
7. Dustmurodov E. et al. The concept of the FRITIOF (FTF) model //Science and innovation. – 2023. – Т. 2. – №. A5. – С. 51-53.