

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

ALISHER NAVOIY NOMIDAGI
SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI

Alimov T.A., Maxmudov B.M., Sirojev N.S.

QUYOSH FIZIKASI

(Uslubiy qo'llanma)

Samarqand Davlat Universitetining
o'quv-uslubiy kengashi tomonidan
nashrga tavsiya etilgan

SAMARQAND-2014

Ushbu risolada kosmologiya va uning elementlari hamda asoslari, Eynshteynning nisbiylik nazariyasiga asoslangan, kosmologik model tugrisida ma'lumot berilgan hamda ularning xarakteristiklari, yulduz turkumlari va galaktikalarning tuzilishi, ularda yuz beradigan jarayonlar tugrisidagi ma'lumotlar keltirilgan. Gersshprung-rassel diagrammasi, Quyosh doglari, Quyosh tuzilishi, fotosfera, xromosfera, tojlarning xarakteristik ko'rsatkichlari keltirilgan. Bu risola astronom-bakalavr ilmiy yo'nalishi buyicha ta'lim olayotgan talabalar, aspirantlar hamda o'qituvchilar va ilmiy xodimlar, shuningdek astronomiya-astrofizikaga qiziquvchilar uchun foydali bo'ladi.

TAQRIZChILAR:

1. Yadro fizikasi kafedrası dotsenti, fizika-matematika fanlari nomzodi-Axmedova G.A.
2. Astrofizika kafedrası dotsenti, fizika-matematika fanlari nomzodi Yusupov A.A.

MUNDARIJA

bet

1. Kirish.	4
BIRINChI BOB. Kosmologiya va uning elementlari.	9
1.1. Kosmologiya va uning asoslari.	9
1.2. Eynshteynning nisbiylik nazariyasiga asoslangan, kosmologiya.	15
IKKINChI BOB. Yulduzlar va galaktikalar evolyusiyasi.	21
2.1. Turli yulduzlar va ularning qonuniyatlari.	21
2.2. Galaktika va yulduzlar sistemalari.	26
2.3. Galaktik kosmik nurlar, ularning energetik spektri va ximiyaviy tarkibi.	31
2.4. Galaktikamizning magnit maydoni va uning tuzilishi.	39
UChINChI BOB. Quyosh va uning xususiyatlari.	46
3.1. Quyosh bizning galaktikamizning eng yaqin yulduzidir.	46
3.2. Quyosh aktivligi va Quyosh shamoli.	53
3.3. Quyosh kosmik nurlari. Ssintillyasion va Cherenkov nurlanishi detektorlari. Neytronli monitorlar.	60

Kirish.

Reja: I. Kosmik nurlar fizikasi fani va koinotni o'rganish.

II. Koinotni yoshi, o'lchami va kosmik nurlar.

Darsning maqsadi: Talabalarga kosmik nurlar to'g'risida tushuncha berish, koinotning yoshini va o'lchamini aniqlash usullarini o'rganish.

Tayanch iboralar: Kosmik nurlar, koinot, metagalaktika, koinotning yoshi, koinotning o'lchamlari, kvarklar, leptokvarklar, fotonlar, kuchsiz o'zaro ta'sirlar, elektromagnit o'zaro ta'sirlar, kuchli o'zaro ta'sirlar.

Dars o'tish vositalari: sinf doskasi, plakatlar, darsliklar, o'quv uslubiy qo'llanmalar, fizik lug'atdan foydalanish, tarixiy ma'lumotlar.

Dars o'tish usullari: takrorlash, suhbat va savol-javob hamda munozara asosida jonli muloqot o'tkaziladi.

I. Kosmik nurlar fizikasi fani va koinotni o'rganish.

Kosmik nurlar, koinotda paydo bo'lib yuqori energiyalargacha tezlashtirilgan zarralar va yadrolar oqimidan iboratdir.

Kosmik nurlar fizikasi fani, fizika fanining bir bo'limi sifatida paydo bo'lib, unda quyidagi jarayonlar o'rganiladi;

a) Kosmik nurlarning xususiyatlari va tabiati;

b) Kosmik nurlar ta'sirida kosmik obyektlar ichida, kosmik fazoda, Yer atmosferasida, Yer ichida vujudga keluvchi jarayonlar.

Kosmik nurlar fizikasida yadro fizikasining detektorlaridan va ishlab chiqilgan metodlaridan keng foydalaniladi. Bunda zarralarning magnit maydonidan o'tishida, zarralarning impulslarini magnit analizi, turli muhitlardan o'tishida esa turlicha yutilishini analizi metodlaridan keng foydalaniladi. Yerning magnit maydoni kosmik zarralar uchun tabiiy magnit analizatori rolini uynaydi (Kosmik nurlarning kenglik effekti). Yerning atmosferasi esa zarralarni yutuvchi tabiiy muhit hisoblanadi. Kosmik zarralarni Yer atmosferasidan o'tishida ketma-ket yuzaga keluvchi elektromagnit va yadroviy kaskad ta'siri jarayonida, keng atmosfera yog'dusi deb ataluvchi ikkilamchi zarralar okimi xosil bo'ladi va bunday zarralarni qayd qilish uchun ulkan qurilmalar keng atmosfera yog'dusi qurilmalari yaratiladi. Keng atmosfera yog'dusini qayd qiluvchi qurilmalar turli xil detektorlardan tashkil topgan bo'lib, Yer atmosferasining turli chuqurliklarida, Yer sathida, tog' sathlarida o'rnatiladi. Hozirgi payda kosmik nurlarni, keng atmosfera yog'dusi zarralarini qayd qilish yo'li bilan, qayd qilish, o'rganishda, samolyotlar, sun'iy yo'doshlar, balonlar, suv kemalarida o'rnatilgan asboblardan keng foydalanilmoqda. Shuning uchun kosmik nurlar fizikasi fani boshqa fanlar, masalan: geofizika, astrofizika, koinot fizikasi, yadro fizikasi va boshqa fanlar bilan chambarchas bog'langandir.

Kosmik nurlar fizikasida keng atmosfera yog'dusini qayd qilish metodidan tashqari, kosmik nurlarning intensivligini vaqtli variatsiyalarini qayd qilish metodidan ham keng foydalanadilar. Aniqlanishicha kosmik nurlarning intensivligi

vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadi va bunga kosmik nurlarning vaqtli variatsiyalari deyiladi. Kosmik nurlarning vaqtli variatsiyalari kosmik obyektlar, Quyosh, yulduzlar va boshqa jismlar hamda kosmik fazoda vujudga keluvchi jarayonlar natijasida vujudga keladi. Shuning uchun kosmik nurlar variatsiyalaridan kosmik jarayonlar zondi sifatida keng foydalanish mumkindir. Sayyoralararo fazoga kosmik apparatlarni uchirishdan ancha oldinroq, kosmik nurlar intensivligining variatsiyalarini o'rganish Quyoshdan turli tomonga uzluksiz ravishda korpuskulyar oqim chiqayotganligini, ya'ni quyosh shamoli mavjudligini ko'rsatib, fazodagi magnit maydonlar birjinslimaslarini masshtabini baholash imkonini berdi.

Hozirgi paytda Yer yuzida qayd qilingan kosmik nurlar intensivligi variatsiyalarining eksperimental natijalariga ko'ra, birlamchi kosmik nurlar variatsiyalarini, undan foydalanib koinot jarayonlarini o'rganish buyicha matematik metodlar ishlab chiqilgandir. Olingan eksperimental natijalarga ko'ra, astrofizik masalalar, muvaffaqiyat bilan yechilmoqda.

Oxirgi yillarda yangi yo'nalish kosmik nurlarning astrofizika yo'nalishi paydo bo'ldi. Kosmik radioto'lqinlar, radioteleskoplar yordamida bu soxa dunyoning ko'p laboratoriyalarida muvaffaqiyat bilan o'rganilmoqda. Rentgen va γ - nurlanishlar ko'p hollarda kosmik zarralarning elektronlari, protonlari va yadrolari tomonidan hosil qilinadi. Shuning uchun biz kosmik zarralarni, uzoqda bizning galaktikamizdan tashqarida o'rganish imkoniga ega bo'lamiz.

Kosmik nurlar fizikasi fanini boshqa fanlar va texnika uchun qiymatini ham qayd qilish kerak. Asosan kosmik uchishlar muammolarida, yuqori energiyali astrofizikada, yuqori energiyali zarralarni o'zaro ta'siri xususiyatlarini o'rganishda foydalanilmoqda. Arxeologiyada ishlatiladigan ba'zi metodlar kosmik zarralarni fizikasi bilan bog'liq, kosmik zarralardan foydalanib, atmosferaning turli balandliklaridagi temperatura o'rganilayapti va hokazolar.

II. Koinotni yoshi, o'lchami va kosmik nurlar.

Kosmik nurlar bilan bog'liq bo'lgan jarayonlar kosmik fazoning nisbatan keng, katta qismida o'tadi. Astronomik kuzatishlar natijalariga ko'ra kosmik obyektlarning yoshi taxminan 10 milliard yilga tengdir. Shuning uchun biz radiusi 10^{10} yorug'lik yiliga teng bo'lgan sferani tassavvur etsak, u holda biz kosmik fazoni shunday sohasini topamizki, bizga undan kosmik signal kelib yotibdi. Bu soha o'lchami $C \cdot 10^{10} \text{ yul} = 3,2 \cdot 10^9 \text{ nc} = 10^{28} \text{ cm}$ -ga tengdir ($1 \text{ PS} = 3,09 \cdot 10^{18} \text{ sm}$, S – yorug'lik tezligi). Koinotni kosmik nurlar yordamida o'rganiluvchi qismiga Metagalaktika deyiladi.

Kosmik muhit, yulduzlar muhiti, yulduzsimon obyektlarning muhiti, kosmik fazodagi gaz va changlardan hamda kosmik zarralardan tashkil topgandir. Bundan tashqari kosmik fazo elektromagnit maydonlar bilan to'ldirilgandir, shuning uchun kosmik zarralar manbadan chiqib bizga yetib kelguncha bunday maydonlar va muhitlar bilan to'qnashuvda bo'ladi. Kosmik fazoda muhit notekis taqsimlangan. Yulduzlar turli galaktikalarga ajratilgandir, o'lchami 10^{26} cm bo'lgan fazoda qarib

10^4 -ta galaktika mavjuddir. Galaktikalar orasidagi o'rtacha masofa $\ell \sim 10^{25} \text{ cm}$ ga tengdir.

Galaktikalar turlicha bo'lib, ular turlicha shaklga egadirlar. Bizning galaktikamiz somon yo'li, spiral shakliga ega bo'lib, unga yaqin bo'lgan qo'shni galaktikalar, Andromeda tumanligi, katta va kichik Magelan tumanliklari va hokazalar bilan shu yerli galaktikalar to'dasini tashkil qiladi. Bu to'daga yana 20-ga yaqin galaktikalar kiradi.

Koinotni birinchi modeli, fazo va vaqtda stasionar modeli edi. Rus olimi Fridmanning 1922 yilda ko'rsatishicha, koinot stasionar bo'lmasdan, u hozirgi vaqtda kengayib borayapti. Koinotni nostasionar modelidan chiquvchiga xulosalar 1929 yilda eksperimental ravishda tasdiqlangandir. Amerikalik astrofizik Xabllning ko'rsatishicha galaktikalar spektridagi chiziqlarni qizil tomonga siljishi Dolpler effektini ifodalab, galaktikalarni bir-biridan uzoqlashishini ko'rsatadi. Galaktikalar bir-biridan uzoqlashishining tezligi v kuzatuvchidan galaktikagacha bo'lgan r masofaga proporsionaldir:

$$g = H \cdot r \quad (1.1)$$

Bu formuladagi $H = 55 \text{ km/c} \cdot \text{Mnc}$ -ga teng bo'lgan kattalikga Xabll doimiysi deyiladi. Xabll doimiysini qiymati masofaga bog'liq bo'lmasdan, vaqtga bog'liqdir. Uning o'lchov birligi chastota o'lchov birligi bilan bir xildir. Galaktikalar kengayish tezligini o'zgaras deb hisoblasak, u holda Metagalaktikaning yoshi $t_o = r/g = H^{-1} = 1,8 \cdot 10^{10}$ yilga teng bo'ladi. Koinotning ko'rinuvchi qismi (Metagalaktika) o'lchami 10^{10} yorug'lik yiliga teng bo'lsa, kosmik nurlar bundan kichikroq masofalardan bizga yetib kelayapti, chunki kosmik zarralar to'qnashuvlar tufayli to'g'ri yo'l bilan kelmasdan balki siniq yo'llar bilan keladi. Kosmik fazodagi xaotik joylashgan magnit maydonlarida, kosmik zarralar sochilib, harakat qiladi, shuning uchun kosmik zarralarni fazodagi harakati diffuzion harakatga yaqindir. Bunda diffuziya koeffitsiyenti $D = \left(\frac{1}{3}\right) \ell g$ sm^2/s bo'lib, ℓ - zarralarning uzaro ta'sirlari orasidagi erkin chopish masofasi, g - ularning tezligidir. Diffuziya koeffitsiyentini son qiymati, zarralarning vaqt birligida, o'rtacha kvadratik ko'chishining yarmiga teng ekanligini hisobga olsak, diffuziya natijasida $g \sim C$ tezlik bilan harakat qilayotgan zarra T vaqt davomida

$$R = \sqrt{2DT} \quad (1.2)$$

masofani bosib o'tishini topamiz.

Zarralarning erkin chopish yo'li uzunligini galaktikalar orasidagi masofani $\ell = 10^{25} \text{ sm}$ deb, T -ni esa megagalaktika yoshi 10^{10} yil deb olsak, R -ning maksimal qiymatini topgan bo'lamiz:

$$R_{\text{max}} = 2,5 \cdot 10^{26} \text{ cm} = 2,6 \cdot 10^8 \text{ yul} \quad (1.3)$$

Shuning uchun yoshi metagalaktikaning yashash davri davomida kosmik zarralar yerga faqatgina 10^8 yorug'lik yiliga teng masofada yetib keladi.

Galaktikaning asosiy xususiyati, uning hamma vaqt harakatdaligidir. Faraz qilinadiki, galaktikaning harakati, tabiati hali noma'lum bo'lgan katta

portlash natijasida vujudga kelgan deb. Portlashning boshlang'ich boskichida, muhitning nihoyat katta temperatura va katta zichligiga mos keluvchi energiya ajraladi. Vaqt o'tishi bilan Metagalaktika kengayib borishi natijasida sovgan. Boshlang'ich vaqtlarda ya'ni $KT > 10^{18} T \ni B$ bo'lganda (K – Bolsman doimiysi), materiya universal ta'sirni tashuvchilaridan (leptokvarklardan) iborat bo'lgan. Metagalaktikani kengayishi va sovishi natijasida universal ta'sirini o'rniga, kuchsiz, elektromagnit va kuchli maydonlar (ta'sirlar) paydo bo'lgan. Natijada materiya kvarklardan, glyuonlardan, leptonlardan va fotonlardan iborat bo'ladi va ularni hammasi termodinamik muvozanatda edi. Materiyaning yana sovishi natijasida kvark glyuonli plazma adronlarga aylanadi. Materiyaning zichligini ma'lum qiymatidan boshlab leptonlar (e – elektronlar, μ – myuonlar, ν – neytrinolar) o'zaro ta'sirdan mahrum bo'lganlar. Elektronlar va pozitronlar annigilyasiya bo'lib, yadrolar va yulduzlar paydo bo'lgan.

Bunday jarayonlarning xotirasi koinotning ma'lum xususiyatlarida haligacha saqlanib qolgan. Masalan, 1965 yilda mikroto'liqlik radionurlanishlar qayd qilingan bo'lib, anizotropiyasining yuqori darajasi, ular butun megalaktikani to'ldirganligidan darak beradi. Bu nurlanishni spektrini xarakteristikalarini temperaturasi $\sim 3K$ -ga yaqin bo'lgan ($\langle h\nu \rangle = \langle E_\gamma \rangle \approx 2.5 \cdot 10^{-4} \text{ } \ni B$) absolyut qora jismning (Plank taqsimlanishi) spektrini xarakteristikalariga yaqindir. Bunday nurlanishni paydo bo'lishini megalaktikani evolyusiyasini boshlang'ich boskichi bilan bog'laydilarki, u vaqtlarda elektromagnit nurlanish isitilgan muhit bilan muvozanatda bo'lgan. Metagalaktika kengaygan sari nurlanishni adiabatik sovishi vujudga kelib, hozirgi vaqtda uning intensivligini maksimumi mikroto'liqlar diapazoniga to'g'ri keladi. Bu nurlanishga reliktni nurlanish deyiladi. Reliktli nurlanishning mavjudligi, koinot nostasionarligini ko'rsatuvchi muhim dalil bo'lib, kosmik nurlar tarqalishining muammolari uchun muhim ahamiyatga egadir. Yana reliktni neytrinoli nurlanishlar ham bo'lishi ehtimoldan xoli emas.

Yechish uchun mashq va masalalar:

1. Koinotning yoshini 10 milliard yilga teng deb olib, Metagalaktikaning o'lchamini aniqlang. (Javob: 10^{28} sm)
2. Xabll doimiysini qiymatini $H = 55 \text{ km/c} \cdot \text{Mnc}$ -ga teng deb olib, Metagalaktikani yoshini aniqlang. (Javob: $1,8 \cdot 10^{10}$ yil)
3. Metagalaktikaning yashash vaqti davomida yorug'lik tezligiga teng tezlik bilan tarqaluvchi kosmik zarralarni bosib o'tgan masofasini hisoblang. (Javob: $2,5 \cdot 10^{26}$ sm = $2,6 \cdot 10^8$ yil)
4. Xabll qonunidan foydalanib, Metagalaktikani kengayish tezligini hisoblang.

Sinov savollari:

1. Kosmik nurlar deb qanday zarralarga aytiladi?
2. Metagalaktika nima?
3. Megagalaktikani yoshi va o'lchami qanday?
4. Kosmik nurlar fizikasi fanini predmeti nimadan iborat?

5. Keng atmosfera yog'dusi nima?
6. Kosmik nurlar intensivligini vaqtli variatsiyalarini tushuntiring.
7. Kosmik fazoning muhitini tushuntiring.
8. Relikt nurlanish deb qanday nurlanishga aytiladi?
9. Xabbl doimiysi nimani ifodalaydi.
10. Kengayuvchi koinot modelini tushuntiring.
11. Katta portlashdan keyingi materiyani evolyusiyasini tushuntiring.

Adabiyotlar:

1. T.A.Alimov, B.M.Maxmudov. «Cherenkovskiy metod izucheniya kosmicheskix luchey sverkhvysokix energiy». Izd-vo SamGU, 2004.
2. V.S.Murzin. «Vvedeniye v fiziku kosmicheskix luchey» Izd-vo MGU, 1988.
3. Dorman L.I. Variatsii galakticheskix kosmicheskix luchey. M.: Izd-vo MGU, 1975.
4. Maxmudov B.M., Alimov T.A., Abduraxmonov B.D. Izv. RAN. Ser. fiz. 1993, t.57, №7, s.23.

BIRINCHI BOB. Kosmologiya va uning elementlari.

1.1. Kosmologiya va uning asoslari.

Reja: I. Kosmologik prinsip.

II. Nyuton qonunlariga asoslangan, koinotni bir jinsli izotropik modeli.

Darsning maqsadi: Talabalarga kosmologiya to'g'risida tushuncha berish, kosmologiyada kosmik nurlar fizikasini tutgan o'rnini tushuntirish.

Tayanch iboralar: Koinot, galaktika, metagalaktika, stasionar, nostasionar, statik, koinotning kengayishi, koinotning siqilishi, Xabbl doimiysi, bir jinsli, izotrop, gravitasion paradoks, fotometrik paradoks, ko'rinma yulduz kattaligi.

Dars o'tish vositalari: sinf doskasi, plakatlar, darsliklar, o'quv uslubiy qo'llanmalar, fizik lug'atdan foydalanish, tarixiy ma'lumotlar.

Dars o'tish usullari: takrorlash, suhbat va savol-javob hamda munozara asosida jonli muloqot o'tkaziladi.

I. Kosmologik prinsip.

Kosmologiya bir butun koinotni, fizikaviy tabiati, tuzilishi va evolyusiyasini o'rganuvchi fandir, xususiyl holda kosmologiya koinotni ko'rinuvchi, o'rganiluvchi, Metagalaktika deb ataluvchi, qismi to'g'risidagi fandir. Buning uchun kosmologiya eng avval eksperimental kuzatishlar natijalariga tayanadi. Kosmologiya koinotning kuzatilishi mumkin bo'lgan qatlamini xususiyatlarini aniqlab, uni butun koinot uchun umumlashtiradi. Lekin butun koinotning xususiyatlari uning bir qismini xususiyatlaridan farq qilishi mumkin. Metagalaktika uchun olingan eksperimental natijalar butun koinotga

ekstrapolyasiya qilinadi. Bundan tashqari faraz qilinadiki, tabiatning fundamental qonunlari butun koinot uchun to'g'ridir.

Muhit o'rtacha zichligining doimiyligi to'g'risidagi g'oya, kosmologiya uchun muhimdir. O'rtacha zichlikni o'zgarmas hisoblash mumkin bo'lgan fazoning o'lchami Metagalaktika o'lchamidan kichik bo'lsa ham u lokal shu yerdagi yulduzlar, galaktikalar va galaktikalar to'plami bilan bog'liq bo'lgan birjinslimaslarning masshtabidan kattadir.

Koinotda muhitni o'rtacha hisobda tekis taqsimlanganligini, berilgan ko'rinma yulduz kattaligida joylashgan galaktikalar sonini sanash yo'li bilan asoslash mumkin. Kuzatishlarga ko'ra kuchsiz galaktikalar uchun $N(m+1)/N(m)$ nisbat (m kurinma yulduz kattaligi, N yulduzlar soni) o'rtacha hisobda 4 ga yaqin bo'lib, koinotda olingan turli yunalishlarda 4-dan chetlashishi tasodifiy xarakterga egadir. Bundan turli yunalishlarda o'rtacha hisobda galaktikalar, ya'ni muhit miqdori tekis taqsimlanganligi kelib chiqadi.

Kosmologiyada, muhitning o'rtacha zichligini katta masshtablarda o'zgarmas qolishiga, koinotning nisbatan umumiy xususiyati birjinsliligi va izotropligi natijasi sifatida qaraladi. Birjinslilik, materiyaning barcha xususiyatlari butun koinotda birxilligini bildirsa, izotroplik esa turli yo'nalishlarda birxilligini bildiradi. Boshqacha qilib aytganda, bir jinslilik koinotda biror xususiyati bilan ajratilgan soxalarning yo'qligini bildirsa, izotroplik ajratilgan yo'nalish yo'qligi bilan tushuntiriladi. Masalan, izotroplik galaktikalarni turli yo'nalishlarda birxilda sochilishi bilan tasdiqlanadi. Birjinslilik va izotroplikga kosmologiyada, kosmologik prinsip deyiladi.

Oldingi kosmologik tasavvurotlar birjinslilik bilan birgalikda, statiklik yoki o'zgarmaslik prinsipidan kelib chiqar edi. Bu tasavvurlarni cheksiz Yevklid fazosiga ekstrapolyasiya qilish ma'lum qiyinchiliklarga olib keldi. Bu qiyinchiliklar quyidagi ikkita: fotometrik va gravitasion paradokslar shaklida ma'lumdir.

Fotometrik paradoks shundan iboratki, agar koinot cheksiz bo'lib, u yulduzlar bilan bir tekis to'ldirilgan bo'lsa, u holda istalgan yo'nalishda ko'rish nuri oxir oqibat biror yulduzni kesadi hamda, obyektlarni ko'rinuvchi yorqinligi ungacha bo'lgan masofaga bog'liq bo'lmaganligi sababli, bizga butun koinot bir xilda tekis nurlanuvchi bo'lib ko'rinishi kerak edi, masalan, Quyosh diskiga o'xshab. Yorug'likni yulduzlar orasidagi fazoda yutilishi bu paradoksni bartaraf etolmaydi, chunki nur yutilish oxir oqibat nurlanishga almashtiriladi. Uzoq obyektlardan kelayotgan yorug'lik energiyasi qizil tomonda siljish natijasida kamayishini hisobga olsak, fotometrik paradoks bo'lmaydi. Bundan tashqari, ko'rish mumkin bo'lgan koinot hajmi chekli, koinot ko'rish gorizonti orqali chegaralangan bo'lishi mumkin. Ko'rish gorizonti deganda shunday sfera tushuniladiki, uning sirtidagi barcha nuqtalari kuzatuvchidan bir xil, yorug'likni, kengayuvchi koinot mavjudligi davomida bosib o'tilgan masofasiga teng masofalarda joylashgan bo'ladi.

Gravitasion paradoks shundan iboratki, muhit bilan bir tekis to'ldirilgan

koinotda Nyuton qonunlaridan foydalangan holda, koinotni berilgan nuqtasi uchun gravitasiya kuchini hisoblash mumkin emas.

Masalan, berilgan nuqtada joylashgan elementar massaga, massani konsentrik o'rab olgan qatlamlarning ta'sir kuchlarini yig'ish yo'li bilan hisoblasak tushunarliki nol kelib chiqadi. Agar markazi boshqa nuqtada r - masofada joylashgan konsentrik qatlamlarni hosil qiluvchi kuchlarni yig'indisi sifatida hisoblansa, ko'rsatish mumkinki, radiusi r - ga teng bo'lgan sharning, uning yuzida turgan nuqtani tortish kuchini topamiz.

Gravitation paradoks Nyuton qonunlarini cheksiz koinotga tadbiq etish mumkin emasligidan va ta'sir kuchini tarqalish tezligi Yevklid fazosida cheksizga teng deb olinishidan kelib chiqadi.

Umumiy nisbiylik nazariyasiga asoslangan kosmologik nazariyada, gravitation paradoks mavjud emas. Umumiy nisbiylik nazariyasini paydo bo'lishi zamonaviy kosmologiya fani vujudga kelishiga asos bo'ldi. Asosiy kosmologik tenglamalar Eynshteyn tomonidan chiqarilgan bo'lib, bunday tenglama u tomonidan xususiy hol uchun statik koinot uchun yechilgandar. Keyinchalik nisbatan umumiyroq hol uchun 1922 yili ulug' rus matematiki A.A.Fridman tomonidan yechilgandir. Keyinroq aniqlanishicha, Nyuton qonunlariga asoslangan kosmologiyadan ham muhim xulosalar chiqarish mumkindir.

II. Nyuton qonunlariga asoslangan, koinotni birjinsli izotropik modeli.

Boshqa fanlardagi kabi, kosmologiyada ham murakkab jarayonlarni modellashtirish yo'lidan foydalanib o'rganishga katta e'tibor beriladi. Bunda real obyekt, jarayon, matematik sxema bilan almashtirilib o'rganiladi. Hozirgi paytda shunday matematik apparat modellar yaratilganki, koinotni xususiyatlarini kuzatish natijalarini aniq ravshan ifodalaydi.

Nyuton qonunlariga asoslangan, koinotni birjinsli izotrop modelini ko'rib chiqamiz. Gravitation kuchlar koinot masshtabida boshqa hych kanday kuch bilan kompensasiyalanmaydi va asosiy rolni o'ynaydi. Nyuton qonunlari chekli massalar uchun o'rinli bo'lganligi sababli, biz ko'rib chiqayotgan model koinotni juda katta, lekin chegaralangan, chekli massaga ega bo'lgan, sohasi uchun o'rinlidir. Tushunarliki, bunday massa, uning qismlari orasidagi gravitation kuch ta'siri ostida siqilishi yoki yetarlicha kinetik energiya zapasiga ega bo'lsa kengayishi kerak, keyinchalik bunday kengayish gravitation kuch ta'siri ostida tormozlanish bilan almashishi kerak.

Ko'rsatish mumkinki, bunday modelda Xabll qonuni o'rinlidir. Buni ko'rsatish uchun kengayuvchi koinot modelini ko'rib chiqamiz. A va V shunday koinotni ikki nuqtasi bo'lsin, boshlang'ich holatda bu nuqtalar orasidagi masofa r - ga teng bo'lib, $\mathcal{Q} = \Delta r / \Delta t$ tezlik bilan bir-biridan uzoqlashyotgan bo'lsin. AV masofani r birlikga teng intervallarga bo'lamiz, koinotni birjinslilik xususiyatiga ko'ra, Δt - vaqt oraligida har bir interval uzaro teng $\Delta r / r$ kattalikga oshadi. Shuning uchun, birlik intervalni kengayish tezligi, $\frac{1}{r}(\Delta r / \Delta t)$ - kattalikga teng bo'ladi.

Bu kattalik barcha yo'nalishlarda va hamma joylarda bir xil hamda vaqtga bog'liq bo'lmaganligi uchun uni $H(t)$ bilan belgilab, Xabll qonuni (1.1) formulani topamiz, bu formulada H , $H(t)$ -ning hozirgi vaqtdagi qiymatini ifodalaydi. Tushunarliki, bunday holat noustuvordir: muhitning massasi o'zining xususiy tortilish maydonida, boshqa kuchlar, bo'lmaganda, kinetik va potensial energiyalarini orasidagi munosabatga bog'liq ravishda yoki kengayishi yoki siqilishi lozimdir.

Endi faraz qilamizki, markazi fazoning berilgan istalgan nuqtasida bo'lgan ixtiyoriy sharning radiusi r ga teng bo'lsin. Koinotning, izotroplik va bir jinslilik xususiyatiga ko'ra shar sirtidagi nuqtalar uning markazidan, bir xil tezlik bilan uzoqlashadi, ya'ni sharning radiusi vaqt o'tishi bilan kandaydir vaqt funksiyasi $R(t)$ -ga bog'liq ravishda o'zgaradi, shuning uchun quyidagicha yozish mumkindir:

$$r(t) = rR(t) \quad (1.4)$$

$R(t)$ -ga, masshtabli faktor deyiladi.

Masshtabli faktor $R(t)$ - ni bilgan holda, r - ga bog'liqsiz, ikki nuqta orasidagi masofani vaqtga bog'liq ravishda o'zgarish qonunini topish mumkindir.

Radiusi r bo'lgan sfera ichidagi massani m bilan belgilasak, uni zichlik ρ (hamma joyda bir qiymatli) bilan quyidagi formula bilan bog'lash mumkindir:

$$m = \frac{4}{3}\pi\rho r^3 \quad (1.5)$$

Ko'rilayotgan oblast chegerasida turgan birlik massa $\mathcal{G}^2/2$ kinetik va Gm/r potensial energiyaga ega bo'lib, energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra, bu energiyalarni yig'indisi o'zgarmasdir:

$$\frac{1}{2}\mathcal{G}^2 + \left(-G\frac{m}{r}\right) = E_{myra} \quad (1.6)$$

bunda G gravitasion doimiylik.

Agar to'la energiya noldan katta bo'lsa, $E_T > 0$, u holda kengayish tezligi r ning har qanday qiymati uchun nolgacha kamaymaydi, kengayish o'zgarmas sekinlashish bilan bo'lsa ham, cheksizlikgacha davom etadi. Masshtabli faktor $R(t)$ - hamma vaqt oshadi.

Aksincha, $E < 0$ bo'lsa, kengayish tezligi vaqt o'tishi bilan nolchacha kamayib boradi, keyin kengayish qisilishga almashadi, $\mathcal{G} = 0$ bo'lgan holda masshtabli faktor o'zining maksimal qiymatiga erishadi, bundan keyin u kamayuvchi funksiyaga aylanadi. Bunday ikki chegaraviy holatlar orasida $E = 0$ bo'lgan holat ham mavjud bo'lib, bunda kengayish nolga yaqinlashuvchi tezlik bilan cheksizlikgacha davom etadi. (1.6) formuladan ko'rinib turibdiki, kengayishning tezligi parabolik tezlikga to'g'ri keladi:

$$\mathcal{G}_n = \sqrt{2mG/r} \quad (1.7)$$

Bu formulaga ϑ - ning qiymatini Xabll qonunidan, m -ning qiymatini esa (1.5) formuladan qo'yib quyidagini topamiz:

$$\rho_o = \frac{3H^2}{8\pi G} \quad (1.8)$$

Bu formuladan ko'rinib turibdiki, ρ_o ning qiymati r ga bog'liq emas. Bundan olingan natijalar har qanday katta masshtab uchun ham o'rinli ekanligi kelib chiqadi. To'liq energiyaning nol qiymatiga to'g'ri keluvchi zichlikga kritik zichlik deyiladi, chunki koinotni kritik zichlik qiymatidan kichik yoki katta bo'lgan o'rtacha qiymatida, yuqorida qayd qilingan kengayuvchi koinot holatlari yuz beradi.

$H = 55 \text{ km/(s.Mps)}$ deb, qabul qilib, hozirgi paytda koinot muhitini zichligini kritik qiymati 10^{-29} g/sm^3 ekanligini topamiz. Metagalaktikadagi barcha massalarni hisobga olinishi o'rtacha zichlik haqiqiy qiymatini baholash imkonini beradi, u kritik zichlik qiymatidan kichik bo'lib 10^{-30} g/sm^3 - ga tengdir. Lekin bu zichlikni eng pastki chegarasi bo'lsa kerak, chunki megagalaktikani massasi oxirigacha o'rganilmagan. Agar u katta bo'lsa, kengayuvchi koinot ma'lum vaqtdan keyin siqiluvchan bo'lishini bildiradi.

Koinot muhitini o'rtacha zichligini hisoblashda neytrinolarning tinchlikdagi massasini noldan farqli ekanligini hisobga olish kerak. Oxirgi yillarning natijalariga ko'ra neytrinoning tinchlikdagi massasi elektronlar massasidan taxminan 20000 kichik bo'lib $6 \cdot 10^{-32}$ grammga tengdir.

Koinotda juda ko'p neytrinolar bo'lishi kerak, asosan reliktli, koinotni boshlang'ich kengayishidan qolgan neytrinolar. Nazariy hisoblashlarning ko'rsatishicha har bir protonga o'rtacha hisobda milliard dona neytrino mos kelishi kerak.

Agar, yuqorida keltirilgan neytrino massasi to'g'ri bo'lsa, u holda neytrinolarga to'g'ri keluvchi massa, odatdagi muhit massasidan taxminan **30** marotaba katta bo'lishi kerak. Shunday qilib, neytrinolar, koinotni asosiy xususiyatlarini belgilayotganligi mumkindir.

Yuqorida Xabll doimiysini $H = 75 \text{ km/(c} \cdot \text{Mpc)}$ - ga teng deb olib, Metagalaktikaning yoshini aniqlagan edik. Demak, qadimda, koinotni kengayish tezligi o'zgarmas qolgan bo'lsa, kengayuvchi koinotni hozirgi holatiga kelganicha $\sim 10^{10}$ yil o'tganligi kelib chiqadi.

Ulchashlar xatoliklari intervali chegarasida ko'pchilik galaktikalar va bizning galaktikamizdagi, qari yulduzlarning yoshi ham $\sim 10^{10}$ yilga tengdir. Bu natijalar yulduzlarni spektrlarini, yulduzlar evolyusiyasini nazariyasi bilan birgalikda o'rganish asosida aniqlangandir. Bundan ko'pchilik galaktikalar, koinot kengayishini boshlang'ich stadiyalarida, birinchi milliard yillar davomida paydo bo'lganligini ko'rsatadi. U paytlarda muhit zichligi, hozirgi paytdagi qiymatidan juda katta bo'lgan.

Shunday qilib biz klassik fizika qonunlari asosida koinotni muhim xususiyatlarini aniqladik: nostasionarligini kengayish yoki siqilish xususiyatlarini.

Bunday savollarga aniq javob berish uchun fizikaning nisbatan aniq qonunlari masalan umumiy nisbiylik nazariyadan foydalanish kerak.

Sinov savollari:

1. Kosmologiya nima?
2. Kosmologik prinsip nima?
3. Fotometrik paradoksni tushuntiring?
4. Gravitasion paradoksni tushuntiring?
5. Koinotni birjinslilik va izotroplik prinsipini tushuntiring?
6. Nyuton qonunlariga asoslangan koinot modelini tushuntiring?

Adabiyotlar:

1. P.I. Bakulin i drugiye «Kurs obshey astronomii». Moskva, «Nauka» glavnaya redaktsiya, fiziko-matematicheskoy literaturi, 1983 g.
2. T.A.Alimov, B.M.Maxmudov. «Cherenkovskiy metod izucheniya kosmicheskix luchey sverxvisokix energiy». Izd-vo SamGU, 2004.
3. V.S.Murzin. «Vvedeniye v fiziku kosmicheskix luchey» Izd-vo MGU, 1988.
4. Dorman L.I. Variatsii galakticheskix kosmicheskix luchey. Moskva.: Izd-vo MGU, 1975.

1.2. Eynshteynning nisbiylik nazariyasiga asoslangan, kosmologiya.

Reja: I. Relyativistik kosmologiya.

II. Issiq koinot modeli.

Darsning maqsadi: Talabalarga relyativistik kosmologiya to'g'risida tushuncha berish, ularga issiq koinot modelini tushuntirish.

Tayanch iboralar: Issiq koinot, singularlik, koinotning nostansionarliligi, relyativistik kosmologiya, adronlar asri, leptonlar asri, nurlanish asri, noyevklid geometriya, reliktli nurlanish, relikt neytrinolar.

Dars o'tish vositalari: sinf doskasi, plakatlar, darsliklar, o'quv uslubiy qo'llanmalar, fizik lug'atdan foydalanish, tarixiy ma'lumotlar.

Dars o'tish usullari: takrorlash, suhbat va savol-javob hamda munozara asosida jonli muloqot o'tkaziladi, kosmologiyaga doir masala yechiladi.

I. Relyativistik kosmologiya.

Ma'lumki nisbiylik nazariyasi, katta massalarning mavjudligi fazo va vaqt xususiyatlariga ta'sir ko'rsatishi xulosasiga olib keladi. Bizga ma'lum bo'lgan Yevklid fazosi xususiyatlari (masalan, uchburchak ichidagi burchaklar yig'indisi, parallel chiziqlar xususiyatlari) katta massalar oldida o'zgaradi, iborali qilib aytganda katta massalar yaqinida fazo egrilanadi. Masalan, fazoning egrilanishi natijasida, nur Quyosh yaqinida $2''$ ga egrilanadi, uni Quyoshning to'la tutilishi paytida, Quyosh yaqinidagi yulduzlarni vaziyatini kuzatishda o'lchash mumkindir.

Barcha galaktikalar to'dalarini gravitasion ta'sirini yig'indisi bir butun koinotni egrilanishini hosil qilishi mumkin. Qayd qilish lozimki, nisbiylik nazariyasi qonunlari asosida, massaning ixtiyoriy taqsimlanishida fazo va vaqt xususiyatlarini aniqlash masalasi juda murakkabdir.

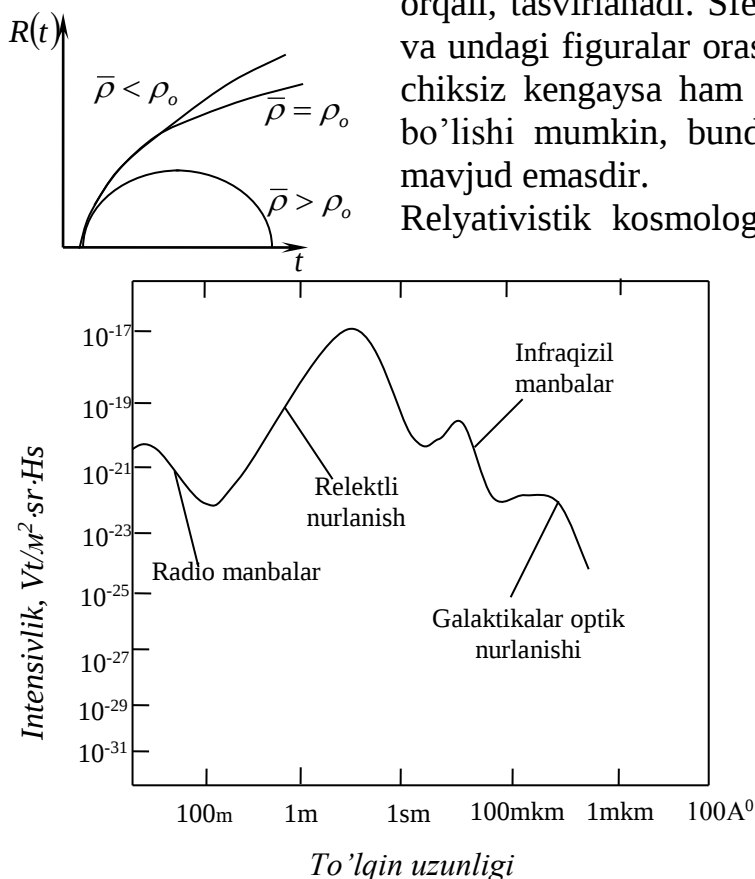
Hozirgi zamon relyativistik kosmologiya fani A.A.Fridman ishlaridan boshlangan, u muhitni birjinsli izotrop koinotdagi harakatini hisoblab, koinot nostasionar bo'lishligini, u doimo kengayishi yoki siqilishi kerakligini isbotladi. Mos ravishda muhitni o'rtacha zichligi ham o'zgarib turishi kerak. Relyativistik kosmologiyada ham koinotni nostasionarligi xuddi, klassik fizikadagidek, cheksiz kengayuvchi yoki siqilish bilan almashinuvchi harakatdan iboratdir. Relyativistik mexanikada aniqlangan kritik zichlikning qiymati (1.8) formula yordamida aniqlangan qiymatiga to'g'ri keladi. Relyativistik mexanikani klassik mexanikadan farqi, undan fazoning egrilanishini kelib chiqishidir. Kritik qiymatga teng o'rtacha zichlikda, kengayishni tezligi cheksiz nolga yaqinlashadi (sekinlashish), fazoning egriligi nolga tengdir va Yevklidli geometriya xususiyatlariga egadir. Boshqa barcha hollarda fazoning geometriyasi noyevkliddir. Kritik qiymatdan kichik zichliklarda fazoning egrilanishi manfiy, katta zichliklarda esa musbatdir. Mos ravishda birinchi holda, koinot hamma vaqt kengayadi, ikkinchi holda kengayish biror asrda siqilishga almashinadi. Ikkinchi holda, noyevklid geometriya kuchi asosida, fazo chekli bo'lishi kerak, ya'ni har qanday vaqt momentida chekli hajmga va chekli massaga ega bo'lishi kerak, lekin koinotni chegarasi bo'lmasligi kerak. Bunday chegaralangan uch o'lchamli fazoning modeli bo'lib, kengayuvchi sfera sirti xizmat qiladi. Bunday modelda, galaktikalar tekis chizilgan figuralar

orqali, tasvirlanadi. Sfera yuzini cho'zilishida, uning sathi va undagi figuralar orasidagi masofa oshadi. Bunday sfera chiksiz kengaysa ham uning sathi istalgan vaqtda chekli bo'lishi mumkin, bunday ikki o'lchamli fazoda chegara mavjud emasdir.

Relyativistik kosmologiyada masshtabli faktor $R(t)$ -ning xususiyatlari (1.4), (1.5), (1.6) formulalar yordamida aniqlovchi faktor xususiyatlari bilan aniqlanadi. Birinchi rasmda $R(t)$ bog'lanish koinot nostasionarligining har uch holi uchun ko'rsatilgandir (rasm 1).

II. Issiq koinot modeli.

1965 yili kosmologiya uchun juda muhim bo'lgan, koinotning izotropik va birjinslilik xususiyatini tasdiqlovchi yangilik ochilgan. Yerning sun'iy yo'ldoshlarini



Rasm 2. Fonli nurlanish spektri.

kuzatishga mo'ljallangan asbob yordamida koinotning turli yo'nalishlaridan bir xil intensivlikga ega bo'lgan nurlanish, fonli nurlanish kelayotganligi qayd qilingan (rasm 2).

Hozirgi zamon natijalariga ko'ra bu nurlanish prosentning birnecha o'n ulushi aniqligida birjinslidir (uning temperaturasi yo'nalishga bog'liq emas). Energiyasining spektrida taqsimlanishiga kura u issiqlik nurlanishi bo'lib, temperaturasi $\sim 3K$ dir. Bunday temperaturada nurlanish maksimumi spektrning 1 mm ga teng diapazoniga mos keladi.

Hozirgi paytda, koinotda, spektrning bunday millimetrli diapa-zonida, o'ta yuqori izotrop xususiyatga ega va Plankli spektr xususiyatiga ega bo'lgan nurlanishlarni hosil qiluvchi mumkin bo'lgan obyektlar topilmagandir. Ana shu asosda $-3K$ temperaturali nurlanish-ni, koinotni qadim zamonlarda o'ta yuqori temperaturalarda, muhit noshaffof bo'lgan payt-larda hosil bo'lgan nurlanishni qoldig'i sifatida talqin etadilar. Vaqt o'tishi bilan muhit kengayish jarayonida sovib, ionlashgan fazadan, neytral fazaga va shaffof muhitga aylangandir. Nurlanish muhit tomonidan boshqa yutilmagan, boshqacha qilib aytilganda muhitdan ajralib hozirgi holatiga kelgan.

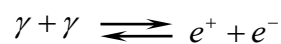
Hisoblashlar ko'rsatadiki, muhitning shaffof muhitga aylanishi uning zichligi 10^{-20} g/cm^3 (atomlarning o'rtacha qiymati 10^4 cm^{-3} tartibda) bo'lganda vujudga kelgan, ya'ni u vaqtlarda muhitning zichligi hozirgisidan milliard marotiba katta bo'lganda. Zichlik masofani kubiga teskari proporsional ravishda o'zgarganligini hisobga olib koinotni kengayishini hozirgidek qabul qilib, muhit noshaffoflik davrida koinotda barcha masofalar taxminan 1000 marotiba kichik bo'lganligini topamiz. To'lqin uzunligi ham shuncha marotiba kichik bo'lganligi kelib chiqadi. Shuning uchun hozirgi paytda, to'lqin uzunligi 1 mm bo'lgan kvantlar u zamonlarda 1 MKM va bundan kichik to'lqin uzunligiga ega bo'lganligi va Plank qonuniga ($\lambda_{\text{max}} = \frac{0,290\text{ cm} \cdot K}{T}$) ko'ra harorat $3000 - 4000K$ bo'lganligini topamiz.

Shunday qilib relikt nurlanishini mavjudligi koinotni nafaqat zichligi balki temperaturasi ham yuqori bo'lganligini ko'rsatadi (koinotni issiq modeli). Koinot bundan ham yuqori zichlik va temperaturada bo'lganmi, degan savolga javobni reliktli neytrinolarni qayd qilish asosida javob berish mumkindir. Neytrinolar uchun yana oldinroq muhitning zichligi $\rho > 10^7\text{ g/cm}^3$ bo'lganda u noshaffof bo'lgan. Koinot kengayishi sari uning zichligi yana kichik bo'lganda neytrinolar ham xuddi relektli nurlanishlar kabi muhit bilan to'qnashmaydigan bo'lgan, ya'ni muhitdan ajralgan, va keyinchalik faqatgina, koinotni kengayishi tufayli kosmologik qizil siljishiga duch kelgan. Energiyasi, o'n ming elektron - volt ulushiga teng bo'lgan bunday neytrinolarni qayd qilishga bu yaqin orada erishilmasa kerak.

Shunday qilib bundan 10 milliard yillar oldin koinot o'ta yuqori zichlikli, juda issiq holatda bo'lgan bo'lishi mumkin. Zichlikni va temperaturani o'zgarish qonunini qadimgi vaqtlarga ekstrapolyasiya qilib, boshlang'ich singulyar deb

ataluvchi paytda o'ta yuqori zichlikli va o'ta yuqori temperaturali paytdan boshlab koinot kengayganligini ko'rsatish mumkindir. Bunday kengayish boshlanishiga shartli ravishda katta portlash deb yuritiladi. Bunday paytlarda bosim va zichlik cheksizga intiladi, bunda boshlang'ich singulyarlik holatida muhitni holati hozirgi paytda fizikada ma'lum bo'lmagan qonunlar asosida ifodalangan. Zichlik 10^{93} g/cm^3 dan oshganda hatto Eynshteynning nisbiylik nazariyasidan ham foydalanish mumkin emas, chunki bu nazariya kvant effektlarni hisobga olmagandir. Plank erasi deb atalgan bunday eralarda gravitasion maydon kvantlari, gravitonlar, paydo bo'lgan bo'lsa ajab emas.

Lekin hammasi bo'lib katta portlashdan keyin 10^{-44} sekund vaqt o'tgach nisbiylik nazariyasi qonunlari o'rinli bo'lgan. Endi hali oxirigacha tekshirilmagan, issiq koinot modelidan kelib chiquvchi xulosalarni ko'rib chiqamiz. Koinotni o'ta yuqori zichlikli va temperaturali holati uzoq davom etmagan bo'lsa ham, uning keyingi rivojlanishida katta rol uynagan. Eng muhimi katta zichlik va haroratga zarrachalar va maydon kvantlarini bir – biriga aylanishi vujudga kelgan. Boshlang'ich paytlarda zarralar va antizarralar bir xil miqdorda tug'ilgan. Bu jarayon ikkita γ kvantlarning dastasini o'zaro to'qnashishida elektron va pozitronlarni tug'ilishiga o'xshaydi:



Teskari strelka elektron va pozitron annigilyasiyasi natijasida ikkita gamma kvant hosil bo'lishini ifodalaydi. Muvozanatli shartlarda, to'g'ri va teskari jarayonlar bir xil miqdorda vujudga keladi. Massasi m - ga teng bo'lgan zarra hosil bo'lishi uchun kvantning energiyasi eng kalida mc^2 ga teng bo'lishi kerak, shuning uchun, elektron-pozitron juftini hosil bo'lishida eng kamida 1000 KeV energiya, yoki $T > 10^{10} \text{ K}$ temperatura bo'lishi kerak. Temperatura qancha katta bo'lsa, kvantlarni energiyasi shunga katta va shuning uchun shuncha katta massali zarralar hosil bo'lishi kerak. Shuning uchun koinot kengayishini boshlang'ich stadiyalarida, juda kam vaqt yashovchi massasi juda katta bo'lgan gipotetik zarralar tug'ilgan bo'lishi mumkin. Temperatura pasayishi bilan massasi kichik bo'lgan zarralar tug'ilib, katta massali zarralar annigilyasiya yoki bo'linish natijasida o'lgan bo'lishi mumkin.

Qayd qilish kerakki, zarralar va ularning antizarralari bir xil miqdorda o'lmagan, antizarralarni deyarli hammasi yo'qolgan, zarralarni bir qismi saqlangandir, neytronlar va protonlarning ortiqchasi saqlangan. Natijada muhitdan (antimuhitdan emas) hosil bo'lgan koinot paydo bo'lgan.

Nuklonlar paydo bo'lishi bilan adronlar (kuchli ta'sirga qatnashuvchi zarralar, masalan protonlar, neytronlar, mezonlar va hokazolar) erasi tugalanib, leptonlar erasi vujudga kelgan, bunda muhit ko'proq musbat va manfiy myuonlar, neytrino va antineytrinolardan, elektron va pozitronlardan tashkil topgan. Nuklonlar esa juda kam bo'lgan. Koinotni yana kengayishi natijasida myuonlar annigilyasiyasi, elektronlar va pozitronlarni annigilyasiyasi vujudga kelgan. Boshlang'ich singulyarlikdan 0,2 sekunddan keyin, neytrinolarni muhitdan

ajralishi vujudga kelgan. Hozirgi paytda bunday relektli neytrinolarni energiyasi kamayib temperaturasi $\sim 2K$ - ga mos keladi. Boshlang'ich singulyarnikdan 10 sekund o'tgandan keyin nurlanish erasi vujudga kelgan. 100 sekunddan keyin nukleosintez jarayoni boshlangan protonlarning bir qismi neytronlar bilan birlashib geliy yadrosini hosil qilgan. Muhit ionlashgan holatdan neytral holatga o'tishdan boshlab nurlanish erasi tamom bo'lgan. Kengayish boshlanishidan million yildan keyin hozirgi muhit erasi boshlangan bo'lib vodorod – geliyli plazmadan muhitni hozirgi ko'rinishlari paydo bo'lgan.

Koinotni kengayish eralarini bayon etishda koinotni birjinslimas qismlari (galaktikalar va ular to'dalari) qanday paydo bo'lganligi to'g'risidagi savollar paydo bo'ladi. Faraz qilinadiki bunday birjinslimaslar, kichik fluktuasiyalar shaklida paydo bo'lib, keyinchalik ionlashgan plazmani neytral muhitga aylanish jarayonida kuchaygan. Bunday kuchayish yetarlicha katta fluktuasiyalarga olib kelishi mumkinki, undan galaktikalar hosil bo'lgan. Xaqiqatan ham neytrinolarni massasi noldan farqli bo'lsa, koinot katta strukturalarini (galaktikalar va ular to'dalari) hosil bo'lishida neytrinolar katta rol o'ynagan bo'lishi mumkin. Ular, qarib yorug'lik tezligi bilan harakat qilayotganlarida ularning har qanday fluktuasiyalari tezlik bilan yutilgan. Lekin koinot bir necha yuz yil kengayishdan keyin, massasi noldan farqli bo'lgan neytrinolarni tezligi yorug'lik tezligidan ancha kichik bo'lishi kerak, shuning uchun bu vaqtdan boshlab, neytrinolarni katta to'dalari endi yutilmasdan, koinotni katta strukturalari galaktikalar to'dalarini va o'ta yuqori to'dalarini hosil bo'lishiga asos bo'ladi. Galaktikalarni o'zlari esa bu holda odatdagi muhitdan hosil bo'lgan, neytrinolar massaga ega bo'lganliklari uchun galaktikalarni bir – biriga tortishish markazlariga aylangan bo'lib, koinotni katta strukturalarini hosil bo'lishida sabab bo'lgan va ularni massasi koinotni yashirin massasini ifoda etadi.

Hozirgi paytda kosmologiya problemalari intensiv ravishda yechib borilayotgan bo'lsa ham, katta qiyinchiliklarga egadir. Hozirgi paytda juda ko'p masalalar tushunarli emas. Lekin olingan natijalar ko'rsatadiki, kosmologiya prinsip jihatdan koinotni tuzilishini va rivojlanishini nisbatan umumiy xususiyatlarini tushuntira oladi.

Yechish uchun mashq va masalalar:

1. Xabll doimiysini $N=55 \text{ km/s} \cdot \text{Mps}$ ga teng deb olib, koinotda taqsimlangan muhit kritik zichligini qiymatini aniqlang.

(javob: $\sim 10^{-29} \text{ G/sm}^3$).

2. Kengayuvchi koinot modeli uchun Xabll qonunini ifodalovchi formula (1.1) o'rinli ekanligini isbotlang.

3. Reliktli nurlanish kvantlarini to'liq uzunligi, qadim zamonlarda, muhit noshaffof bo'lgan paytlarda 1 mkm – ga tengligi aniqlangandir. Plank qonunidan foydalanib o'sha vaqtlardagi harorat qiymatini baholang. (Javob: $3000 - 4000 \text{ K}$)

Sinov savollari:

1. Relektli nurlanish deb qanday nurlanishga aytiladi?

2. Nostasionar koinot evolyusiyasini relyativistik nazariya asosida tushuntiring.
3. Energiyani saqlanish qonuni asosida nostasionar koinotning uch holatini tushuntiring.
4. Muhitni zichligini, kritik zichlik qiymati bilan solishtirishi asosida koinot kengayishining ikki o'lchamli modelini tushuntiring.
5. Relektli nurlanish xususiyatlarini tushuntiring.
6. Qanday neytrinolarga relektli neytrinolar deyiladi.
7. Koinotni singulyar holati deb nimaga aytiladi?
8. Adronlar erasi deb, koinot evolyusiyasining qanday davriga aytiladi.
9. Leptonlar erasi deb koinot rivojlanishini qanday davriga aytiladi?
10. Nurlanish erasi nima?
11. Galaktikalar va galaktikalar to'dalarini hosil bo'lishida neytrinolarning rolini tushuntiring.
12. Koinotning yashirin massasi deb nimaga aytiladi.

Adabiyotlar

1. P.I. Bakulin i drugiye «Kurs obshey astronomii». Moskva, «Nauka» glavnaya redaktsiya, fiziko-matematicheskoy literaturi, 1983 g.
2. T.A. Alimov, B.M. Maxmudov. «Cherenkovskiy metod izucheniya kosmicheskix luchey sverxvisokix energiy». Izd-vo SamGU, 2004.
3. V.S. Murzin. «Vvedeniye v fiziku kosmicheskix luchey» Izd-vo MGU, 1988.
4. Dorman L.I. Variatsii galakticheskix kosmicheskix luchey. Moskva.: Izd-vo MGU, 1975.

IKKINCHI BOB. Yulduzlar va galaktikalar evolyusiyasi.

2.1. Turli yulduzlar va ularning qonuniyatlari.

Reja: I. Normal yulduzlar va ularning klassifikatsiyasi.

II. Gersprung – Russell diagrammasi.

Darsning maqsadi: Yulduzlar, ularning xususiyatlari, klassifikatsiyasi to'g'risida ma'lumotlar beriladi, kosmik nurlar fizikasida yulduzlarni tutgan o'rni tushuntiriladi.

Tayanch iboralar: yulduzlar, katta massali yulduzlar, pakana yulduzlar, oq pakanalar, spektral sinflar, ravshanlik, massa, radius, harorat.

Dars o'tish vositalari: sinf doskasi, plakatlar, darsliklar, o'quv uslubiy qo'llanmalar, fizik lug'atdan foydalanish, tarixiy ma'lumotlar.

Dars o'tish usullari: takrorlash, suhbat va savol-javob hamda munozara asosida jonli muloqot o'tkaziladi.

I. Normal yulduzlar va ularning klassifikatsiyasi.

Koinotda eng ko'p tarqalgan obyektlar yulduzlardir. Koinot massasini taxminan 98% i bunday sharsimon gazli obyektlarga to'g'ri kelib, qolgan qismi kosmik fazoda sochilgandir. Juda ko'p kimyoviy elementlarning hosil bo'lishi,

yulduzlarning evolyusiyasi bilan bog'liqdir, shuning uchun yulduzlarni o'rganilishi nafaqat kosmik obyekt sifatida, balki materiya evolyusiyasini o'rganishda hamda kosmik nurlar fizikasi uchun katta ahamiyatga egadir.

Yulduzlarning asosiy xususiyatlari eng avval massasi, yorqinligi va radiusi bilan aniqlanadi. Shuning uchun tajribaning birinchi vazifasi bu kattaliklarni o'lchashdan iborat bo'lsa, ikkinchisi bu kattaliklar asosida yulduzlarni individual va turli gruppalarini xususiyatlarini aniqlashdan iboratdir.

Hozirgi zamon astrofizik metodlari yulduzlarni tashqarisidagi va ichkarisidagi xususiyatlarini aniqlash va ularni evolyusiyasini kuzatish imkoniga egadir. Yulduzlar turli tuman bo'lsa ham ularni ichidan, ma'lum xususiyatlarini birxilligiga ko'ra, yulduzlar guruhlarini ajratish mumkindir. Bunday guruhlar ichidan nostasionarlik, pulsasiyalanuvchi, portlanuvchi xususiyatlari bilan ajraluvchi guruhlardagi yulduzlarni o'rganish katta ahamiyatga egadir. Bunday guruhlardagi yulduzlarni o'rganish nafaqat yulduzlar to'g'risida, balki butun koinot to'g'risida, kosmik nurlar to'g'risida muhim ma'lumotlarni beradi. Yuqorida qayd qilingan xususiyatlarga ega bo'lmagan yulduzlarga normal yulduzlar deyiladi. Normal yulduzlarni o'rganilishi, yulduzlarni klassifikasiyalash imkonini beradi. Yulduzlar osmoni bilan birinchi tanishishni o'zi yulduzlar ranglari bilan farq qilishlarini ko'rsatadi. Yulduzlarni spektrlarini o'rganish asosida esa, ularni nisbatan nozik xususiyatlariga ko'ra ajratish imkonini beradi. Odatda yulduzlar yutilish chiziqlariga ega bo'lgan tutash spektrga egadirlar. Ba'zi yulduzlarni spektrida yorug' (emission) chiziqlar kuzatiladi. Yulduzlar spektrlarini eng muhim farqi bo'lib, ulardagi chiziqlarni miqdori, intensivligi va unda energiyani taqsimoti hisoblanadi.

Yulduzlarni spektral klassifikasiyasi spektrlarini o'rganishdan va tushintirishdan ancha oldinroq boshlangan bo'lib, bunday spektrlarni o'laroq xususiyatlari yulduzlarni fizik xususiyatlariga bog'liq ekanligi tushunarli edi.

Ko'pchilik yulduzlarni spektrlarini shunday ketma-ketlikda joylashtirish mumkinki, bu ketma-ketlikda, bir kimyoviy elementga taalluqli chiziqlari susayib borsa, ikkinchi elementniki esa kuchayib boradi. Spektrlarini o'xshashliklariga ko'ra yulduzlar, sinflar ajratiladi. Sinflardagi yulduzlar nozik xususiyatlariga ko'ra sinfosti yulduzlar guruhlariga ham ajratiladi. Yulduzlarni ma'lum sinf yoki sinfosti guruhiga mansubligini aniqlovchi kriteriya sifatida ma'lum spektral chiziqlar intensivligi nisbati olinadi. Yulduzlarni bunday klassifikasiyalash prinsipi birinchi marotiba Garvard observatoriyasi xodimlari tomonidan ilgari surilganligi sababli, yulduzlarni Garvard klassifikasiyalash prinsipi deyiladi. Garvard klassifikasiyalashda spektral guruhlar, lotin alfavitini bosh harflari **O, B, A, F, G, K va M** tartibda belgilanadi. Bunday klassifikasiyalash erasida sinflar va yulduzlarni temperaturasi orasida bog'lanish mavjudligi ma'lum emas edi. Bunday bog'lanish borligi aniqlangandan keyin, belgilash ketma-ketligi o'zgartirildi. Ko'pchilik yulduzlarni spektrlari yutilish chiziqlari borligi bilan xarakterlanadi.

O sinfiga kiruvchi yulduzlarni temperaturasi yuqori ekanligini uzluksiz spektrlarini ultrabinafsha qismini intensivligini yuqori ekanligi bilan izohlash

mumkindir, natijada bunday yulduzlar yashil rangda tovlanadi. Bunday yulduzlarning spektrida ionlashgan geliy bir necha marotiba ionlashgan boshqa elementlarning (karbon, kremniy, azot va kislorod) chiziqlari intensiv bo'ladi. Neytral geliy va vodorodning kuchsiz chiziqlari kuzatiladi.

B sinfiga kiruvchi yulduzlarning spektrlarida neytral geliy chiziqlari o'zining maksimal intensivligiga erishadi. Rangi yashil-oq bo'ladi.

A sinfiga mansub bo'lgan yulduzlarning spektrlarida vodorod chiziqlari eng intensiv bo'lib, kalsiy va boshqa elementlarning kuchsiz chiziqlari kuzatiladi. Bunday yulduzlar oq rangda bo'ladi.

F sinfiga kiruvchi yulduzlar spektrida vodorod chiziqlari kuchsiz bo'lib, ionlashgan metallar (asosan kalsiy, temir, titan) chiziqlari intensiv bo'ladi. **G** sinfdagi yulduzlarda vodorod chiziqlari, ko'pchilik metallar chiziqlari orasidan ajratilmaydi. Rangi sariq bo'ladi. Bunday yulduzlarga misol qilib Quyoshni ko'rsatish mumkindir.

K sinfdagi yulduzlar spektrida uzluksiz spektrning binafsha oxiri yetarlicha kuchsizlangan bo'lib, bu sinfdagi yulduzlarning temperaturasi oldingi **O**, **V**, **A** sinflardagi yulduzlar temperaturasiga ko'ra past ekanligini ko'rsatadi.

M sinfdagi yulduzlar, qizil yulduzlar bo'lib, bu sinfdagi yulduzlar spektrlarida metallarga mansub bo'lgan chiziqlar kuchsizlanadi va molekular yutilishi yo'l-yo'l spektrlariga egadir. Asosiy sinflarga mansub bo'lgan yulduzlardan tashqari qo'shimcha **G** va **K** sinflarga kiruvchi yulduzlar ham mavjud bo'lib, ularning kimyoviy tarkibi anomal, boshqa yulduzlar kimyoviy tarkibidan farq qiladi.

S klass ostiga mansub bo'lgan yulduzlarning **M** sinfdagi yulduzlardan farqi shundaki, bunday yulduzlar spektrida titan oksidiga mansub bo'lgan polosalardan tashqari sirkoniy oksidiga mansub bo'lgan polosalar mavjud bo'ladi. Qayd qilingan spektral sinflarni sxematik ravishda quyidagicha ko'rsatish mumkindir:

$$\begin{array}{c} \text{C} \\ / \\ \text{O} - \text{B} - \text{A} - \text{F} - \text{G} - \text{K} - \text{M} \\ \backslash \\ \text{S} \end{array} \quad (2.1)$$

Har bir spektr sinf ichida shunday sinfostilarni ajratish mumkinki, bunda uzluksiz ravishda bir sinfostidan ikkinchisiga o'tish vujudga keladi. **O** sinfdan tashqarida qolgan sinflar **10** ta sinfostilarga ajratiladi va ular **0** dan **9** gacha bo'lgan raqamlar bilan nomerlanadi, masalan: **A0**, **A5**, **V8** va hokazolar. Bunday belgilashlardan keyin (agar yulduzlar qo'shimcha xususiyatlarga ega bo'lsa) qo'shimcha belgilar qo'yiladi. Masalan, **V5I**. **V5** sinfga kiruvchi yulduzlarni spektrida emission chiziqlar borligini bildiradi.

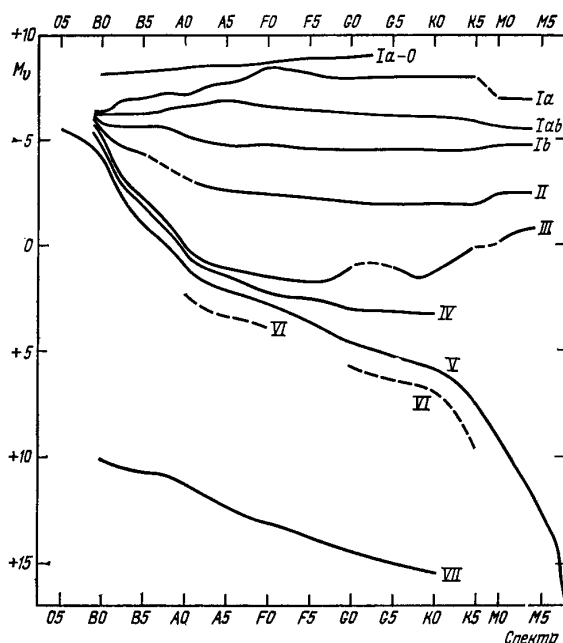
II. Gersshprung – Russel diagrammasi.

XX asrning boshida Daniyalik astronom Gersshprung, keyinroq Amerikalik astrofizik Russel yulduzlarning spektrlarini ko'rinishi (ya'ni, temperaturasi) va yorqinliklari orasida bog'lanish mavjudligini aniqladilar. Bu bog'lanish absissa

o'qida spektral sinf, ordinata o'qida esa absolyut yulduz kattaligi qo'yilgan bog'lanish grafigi bidan ifodalanadi. Bunday grafikga Gersshprung – Russel diagrammasi deyiladi.

Absolyut yulduz kattaligi o'rniga yorqinlikni (odatda logarifmik masshtabda), spektral sinf o'rniga esa rang ko'rsatkichini yoki effektiv temperaturani qo'yish mumkin. Bunday diagrammada har qanday yulduzni o'rnini uning fizik tabiatini va evolyusiyasini stadiyasini aniqlaydi. Shuning uchun aytish mumkinki, Gersshprung – Russel diagrammasida yulduzlar sistemalari rivojlanishini tarixi aks ettirilgandir. Bunday diagrammalarni o'rganish yulduzlar astrofizikasining asosiy metodlaridan bo'lib hisoblanadi. Bunday diagrammalarni o'rganish, umumiy fizik xususiyatlarga ega bo'lgan yulduzlar sistemalarni ajratish, bu sistemaga kiruvchi yulduzlarni fizik xarakteristikalarini orasidagi bog'lanishni topish imkonini beradi. Gersshprung – Russel diagrammasidan foydalanib yulduzlarning kimyoviy tartibini va ular evolyusiyasini topish mumkin.

3-chi rasmdagi diagrammaning yuqori qismi yorqinligi katta bo'lgan yulduzlarga mos keladi, bunday yulduzlar berilgan temperaturada katta o'lchamlari bilan farq qiladilar. Diagrammaning pastki qismini yorqinligi kichik bo'lgan yulduzlar egallagan bo'lsa, diagramma chap qismini issiq oldingi spektral sinflarga taalluqli bo'lgan yulduzlar, o'ng qismida sovuq keyingi sinflarga mansub bo'lgan yulduzlar joylashgan



Rasm-3. Gersshprung – Russel diagrammasi (M–absolyut yulduz kattaligi).

Diagrammaning yuqori qismida joylashgan yulduzlar yorqinligi eng kattadir (gigantlar va o'ta gigantlar), ular yorqinligi bilan farq qiladilar. Diagrammaning pastki qismida joylashgan yulduzlarning ravshanligi past bo'lib, ularga karliklar deyiladi. Yulduzlarga boy bo'lgan diagrammaning chap yuqori qismidan o'ng pastki qismi yo'nalishi tomon joylashgan yulduzlar ketma-ketligiga asosiy ketma-ketlik (V sinf) deyiladi. Asosiy ketma-ketlik yo'nalishi bo'yicha yuqorida eng issiq, pastda esa eng

sovuq yulduzlar joylashgan. Diagrammadan ko'rinib turibdiki, yulduzlar unda notekis taqsimlangan. Diqqat bilan diagrammani analiz qilib aniqlash mumkinki, asosiy ketma-ketlikdan tashqari unda boshqa yulduzlar ketma-ketligini topish mumkindir. Bunday ketma-ketliklarga yorqinlik sinflari deyiladi va rim sonlari bilan **I dan VII** gacha nomerlanib, spektral sinf belgisi orqasiga qo'yiladi.

I-chi yorqinlik sinfiga mansub bo'lgan yulduzlar spektr yorqinlik diagrammasini yuqori qismini egallaydi va bir necha yorqinlik sinflariga bo'linadi (1a-o dan Iv gacha).

II-chi yorqinlik sinfiga mansub bo'lgan yulduzlar – yorqin gigantlar.

III-chi yorqinlik sinfiga kiruvchi yulduzlar – gigantlar.

IV-chi yorqinlik sinfiga mansub yulduzlar – subgigantlar. Qolgan 3 ta yorqinlik sinfiga kiruvchi yulduzlar sistemalari diagrammada o'ta gigantlar va asosiy yulduzlar ketma-ketligi orasida joylashgandir.

V-chi yorqinlik sinfiga kiruvchi yulduzlar – asosiy yulduzlar ketma-ketligi bo'lsa, **VI** - sinfdagi yulduzlar – subkarliklardir. **VII** – sinfdagi yulduzlarga esa oq karliklar deyiladi. Oq karliklarning yorqinligi juda past bo'lib, ular diagrammaning eng pastki qismini egallaydi.

Yulduzlarning berilgan yorqinlik sinfiga mansubligi, ularning spektrini qo'shimcha analiz qilish yo'li bilan aniqlanadi. Masalan, o'tagigantlarning spektrida, odatda juda chuqur tor chiziqlar mavjud bo'ladi (s-xarakteristika), qarama-qarshi karliklarda esa bunday chiziqlar keng bo'ladi. O'zlarining spektrlariga ko'ra karliklar gigantlardan shunday farq qiladiki, ularning spektrida ba'zi metallarga taalluqli bo'lgan chiziqlar kuchsiz bo'ladi, subkarliklarniki esa barcha metallarning chiziqlari kuchsiz bo'ladi.

Sinov savollari:

1. Nima uchun koinotning asosiy xususiyatlarini yulduzlar belgilaydi?
2. Yulduzlarning spektrlarini tushuntiring.
3. Yulduzlarning Garvard klassifikatsiyasi asosida xususiyatlarini tushuntiring.
4. M sinfidagi yulduzlar sistemasi O sinfdagi yulduzlardan qanday farq qiladi?
5. Gersshprung – Russel diagrammasini tushuntiring va u nimani ifodalaydi?
6. O'ta gigant yulduzlarning xususiyatlarini tushuntiring.
7. Yulduzlar asosiy ketma-ketligining xususiyatlarini tushuntiring.
8. Karliklar va oq karliklarning xususiyatlarini tushuntiring.
9. Nima uchun kosmik nurlar fizikasining asosiy qismini yulduzlar fizikasi tashkil etadi?

Adabiyotlar:

1. P.I. Bakulin i drugiye «Kurs obshey astronomii». Moskva, «Nauka» glavnaya redaksiya, fiziko-matematicheskoy literaturi, 1983 g.
2. T.A.Alimov, B.M.Maxmudov. «Cherenkovskiy metod izucheniya kosmicheskix luchey sverxvisokix energiy». Izd-vo SamGU, 2004.
3. V.S.Murzin. «Vvedeniye v fiziku kosmicheskix luchey» Izd-vo MGU, 1988.
4. Dorman L.I. Variatsii galakticheskix kosmicheskix luchey. Moskva.: Izd-vo MGU, 1975.

2.2. Galaktikalar va yulduzlar sistemalari.

- Reja:** I. Galaktikalar va kosmik nurlar.
II. Yangi yulduzlar.
III. Pulsarlar.
IV. Kvazarlar va radiogalaktikalar.

Darsning maqsadi: Talabalarga yulduzlar sistemalari, galaktikalar va galaktik kosmik nurlar to'g'risida ma'lumotlar berish.

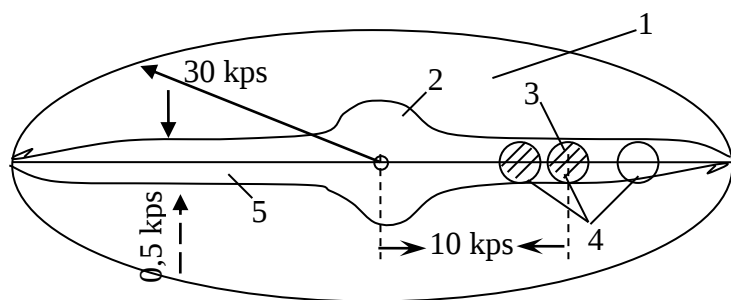
Tayanch iboralar: galaktika, o'ta yangi yulduzlar, pulsarlar, neytron yulduzlar, radiogalaktikalar, kvazarlar, sinxrotron nurlanish, kosmik neytrinolar, kosmik nurlar.

Dars o'tish vositalari: sinf doskasi, plakatlar, darsliklar, o'quv uslubiy qo'llanmalar, fizik lug'atdan foydalanish, tarixiy ma'lumotlar.

Dars o'tish usullari: takrorlash, suhbat va savol-javob hamda munozara asosida jonli muloqot o'tkaziladi, masalalar yechiladi, iboralarga izohlar beriladi.

I. Galaktikalar va kosmik nurlar.

Kosmik nurlarning juda ko'p xususiyatlari galaktikada o'tuvchi jarayonlar bilan aniqlanadi. Galaktika **100** milliarddan ko'proq yoshi turlicha bo'lgan yulduzlardan tashkil topgan. Galaktika spiral shaklga ega bo'lib, uning ko'ndalang kesimi diskdan iborat bo'lib, u yulduzlar bilan zich to'ldirilgandir. Galaktikaning markaziy qismi shar (ellipsoidal) shakliga ega bo'lib, unga galo deyiladi. Galoning radiusi **30 kPs** ga yaqindir. Galaktika qo'ltiqlarining burilish burchagi taxminan 85° ga tengdir. Barcha qo'ltiqlar buriladi, **10 kPs** masofada (Quyosh yaqinida) burilish tezligi **200 km/s** ga teng bo'lib, galaktika markazi atrofida burilish davri **275** yilni tashkil etadi.



Rasm 4. 1-galo, 2-yadro, 3-quyosh sistemasi, 4-qo'ltiqlar, 5-disk.

Yulduzlar orasidagi fazo gazlar (asosan vodorod va geliy) bilan to'ldirilgan-dir. Gazlarning konsentra-siyasi yulduzlar konsentra-siyasidek qo'ltiqlarda yuqo-ridir. **5-8 kPs** masofada gaz va changlarning zichligi 1 atom/sm^3 ga yetadi. Gazlarning taxminan **3%-i** ionlashgandir.

Galaktika markaziga yaqinlashgan sari gaz zichligi oshadi. Galoda esa aksincha zichlik kichikdir ($\sim 10^{-2} \text{ atom/sm}^3$). Chang va gardlarning tuzilishi murakkabdir, ular qisman bir butun zichligi past, qisman zichligi katta bo'lgan bulutlardan iboratdir. Bunday bulutlarning o'lchami **0,1 dan 100 Ps** gacha bo'ladi. Zichligi katta bo'lgan bulutlarda vodorod zichligi $20-30 \text{ atom/sm}^3$ ga, erkin elektronlar zichligi $2 \cdot 10^{-2} \text{ elektron/sm}^3$ ga yetadi, harorat **100 K** ga yetadi. Galaktika tekisligini bir necha prosentini bulutlar tashkil etadi. Bulutlar

orasidagi fazodagi muhitning zichligi $\sim 0,2 \text{ atom/sm}^3$ ga teng bo'lsa, temperatura 10^4 K ga yetadi.

Galaktikada umumiy magnit maydoni mavjuddir. Bunday magnit maydonlarning induksiyasi $V \sim 5 \cdot 10^{-6} \text{ Gs}$ ga tengdir. Bunday magnit maydonlarning kuch chiziqlari galaktika tekisligiga paraleldir va qo'ltiqlar bo'yicha cho'zilgandir (katta masshtabli magnit maydonlari). Bunday maydonlarga bir jinsli bo'lmagan xaotik taqsimlangan magnit maydonlar qo'shiladi. Bunday birjinslimaslarni o'lchami kichik bo'lgan magnitlangan bulutlar singari tasavvur etish mumkindir. Galaktikada magnit maydonlarning energiyasini zichligi kosmik nurlarning energiyasi zichligi $0,6 \cdot 10^{-12} \text{ erg/sm}^3$ ga tengdir. Bunday magnit maydonlar, diffuz bulutlar va gazlarni, kuch chiziqlariga perpendikulyar yo'nalishda sochilib ketishiga qo'ymaydi. Bundan tashqari magnit maydonlar kosmik nurlarni ham ushlab turadi.

Kosmik nurlar zarralari kuch chiziqlari bo'ylab katta tezlik bilan harakat qilib, galaktikadan chiqib ketishi mumkin. Bunday zarralar Quyosh sistemasida galaktik kosmik nurlarni (energiyasi juda katta bo'lgan nurlar) tashkil etadi. Bundan tashqari kosmik nurlar galaktikadan chiqib keng shar shaklidagi sistemani tashkil etadi va uni bir hisobda galaktika toji deb atash mumkindir (u nur chiqarmaydi).

O'ta yangi yulduzlar chaqnashi paytida va boshqa jarayonlarda «og'ir» kosmik zarralardan tashqari ultrarelyativistik elektronlar tashqariga tashlanadi. Galaktikaning magnit maydoni elektronlarni susaytiradi, natijada 1 metr va undan katta to'lqin uzunliklarida issiqlikmas (sinxrotron) radionurlanishlar hosil bo'ladi. Bunday nurlanishlar yer sirtiga to'rt tomondan keladi. Bundan tashqari galaktikani tekisligi yaqinida joylashgan ionlashgan issiq vodorod bizga galaktikaning Somon yo'lidan qo'shimcha radionurlar yuboradi.

II. Yangi yulduzlar.

Har bir necha 10 yilda galaktikada shunday fenomen vujudga keladiki, uni yangi yulduz chaqnashi deb ataydilar. Oldin ko'rinmaydigan yulduz ko'rinadigan bo'lib qoladi. Masalan, 1054 yili shunday yangi yulduz kuzatilganki, uning yorqinligi Yang Veytening yozishicha, oy yorqinligiga teng bo'lgan. Aniqlanishicha bu yangi yulduzni o'rnida hozirgi paytda Krabovid tumanligi hosil bo'lgan. U bizdan 6000 yorug'lik yili masofasida joylashgan. Turli yillarda olingan rasmlarni solishtirish ko'rsatadiki, bu tumanlik 1000 km/s tezlik bilan kengayapti. Hozir aniqlanishicha, Krabovid tumanligi kuchli radio va kosmik nurlar manbaidir. Bu nurlanishlar yangi yulduz chaqnashida hosil bo'lgan elektronlarni, tumanlik magnit maydonida susayishi natijasida hosil bo'ladi. Bunday nurlanishga issiqlikmas yoki sinxrotron nurlanish deyiladi. Bundan tashqari Krabovid tumanligi rentgen nurlanishini kuchli manbai hisoblanadi. Boshqa portlashlar o'rnida ham, kengayuvchi radiomanbalar borligi aniqlangan. Masalan, bunday o'ta yangi yulduzning portlashi bizning galaktikamizga yaqin bo'lgan, katta Magelan tumanligida 1987 yilda qayd etilgan (1987A o'ta yangi yulduzi), u bizdan 160

ming yorug'lik yili masofasida joylashgan. 1987A o'ta yangi yulduzi yer yuzidagi stansiyalar va yerning sun'iy yo'ldoshlarida o'rnatilgan stansiyalar yordamida ham qayd etilgan.

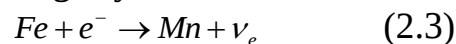
O'ta yangi yulduzlarning yorqinligi juda katta bo'lib, $3 \cdot 10^{43}$ erg/s ga yetadi. Ularning portlashi davomida nurlangan energiyasi 10^5 erg ga yetadi. O'ta yangi yulduzlar bir necha oy davomida so'nsa ham, ularning qoldiqlarini 100 lab yillar davomida kuzatish mumkindir.

O'ta yangi yulduzlar spektrlarining o'zgarishiga ko'ra aniqlanishicha, ularning yorqinligining oshishi, uning fotosferasi yuzini oshishi hisobidan vujudga keladi. Uning yorqinligi eng katta bo'lganda, uning tashqi qavati undan ajralib kosmik fazoda ~ 1000 km/s tezlik bilan sochilib ketadi. O'ta yangi yulduzning markaziy qismi gravitasion kuch ta'sirida siqilib, pulsarga aylanadi. Temperaturasi nihoyat darajada katta bo'lgan, yorqinligi o'rta bo'lgan yulduzlargina o'ta yangi yulduzlardan portlab yarqiraydilar. Bu jihatdan Quyosh bunday portlashdan uzoqdir. Izlanishlarning ko'rsatilishicha, o'ta yangi yulduzning koinotda sochilayotgan tashqi qavati magnit maydoniga ega bo'lib, shuning uchun optik nurlar va radionurlar manbai hisoblanadi. Bunday nurlanishlarning qutblanganligi buni oxirigacha isbot etgan. Krabovid tumanligi va boshqa tumanliklarning qoldiqlari kosmik nurlar manbai hamdir.

Faraz qilinadiki, yulduzning markaziy qismida vodorodni yonishi orqali o'tuvchi termoyadro reaksiyasi natijasida temperatura $3 \cdot 10^9$ K ga yetadi va nisbatan og'ir elementlarni sintezi vujudga kelishi uchun sharoit yaratiladi. Shuning bilan termoyadro energiyasini manbai tug'iladi va gravitasion xamda yorug'likning bosim kuchi orasidagi muvozanat buziladi. Natijada yulduzning markaziy qismi gravitasion kuch ta'siri ostida siqilib, avval neytronli yulduzga, keyin pulsarga aylanadi. Bunday jarayonga gravitasion kollaps jarayoni deyiladi. Gravitasion kollaps jarayoni davomida bosimni oshishi bilan protonlar tomonidan elektronlarni yutish uchun quyidagi reaksiyasi vujudga keladi:



Natijada temir marganesga aylanadi.



Bunda yulduz muhitining markaziy qismida muhit neytronlardan iborat bo'lib, tashqi qobig'i temirdan iborat bo'ladi, ya'ni temirdan qilingan qobiq hosil bo'ladi. Neytron xosil bulishi jarayoning davomiyligi **0,01-0,03** sekund bo'lganda kuchli neytrinoli dasta hamrohlik qiladi. Shuning uchun bunday neytrinolar dastasini qayd qilib, gravitasion kollapsning muhim xususiyatlarini o'rganish mumkindir.

23 fevral 1987 yilda Magellan galaktikasida yuz bergan o'ta yangi yulduz yarqirashi davomida Alp tog'ida Baksan neytrinoli stansiyasida va Yaponiyadagi neytrinoli stansiyalarda bir vaqtli neytrinolar dastalari qayd etilgan. Agar neytrinolar noldan farqli massaga ega bo'lsa, u holda turli neytrinolarni qayd

qilishda farq hosil bo'ladi. Shuning uchun ularning qayd qilish vaqtlarini farqiga ko'ra massalarini baholash mumkindir.

III. Pulsarlar.

Neytronli yulduzlar katta magnit momentiga ega bo'lib, katta tezlik bilan aylanadilar. Shuning uchun pulsasiyalanuvchi radionurlar hosil bo'ladi. Bunday obyektlarning nurlanishi kamayib, oshib turadi yoki ma'noli qilib aytganda, tebranib turadi. Tebranish davri obyektning aylanish davriga teng bo'ladi. Pulsarlar kichik obyektlar bo'lib, odatda radiomanbalar tumanliklarining markaziy soxasida joylashgan bo'ladi. Hozirgi paytda radiomanbasi bo'lgan Krabovid tumanligiga o'xshagan yuzlab obyektlar borligi aniqlangan. Pulsarlar nurlanishining tebranish chastotasi juda baland, 2 dan 200Gs gacha bo'ladi. Bundan pulsarlarning radiusi kichik (10-30km), massasi esa Quyosh massasi tartibida ekanligi kelib chiqadi. Pulsarlarning yuzida magnit maydon kuchlanganligi juda katta $\sim 10^{12}$ Gs tartibida bo'ladi. Pulsarlarning aylanuvchi bunday magnit maydonlari zarralarni katta energiyalargacha tezlashtiradi.

IV. Kvazarlar va radiogalaktikalar.

Ko'pgina astronomik obyektlar elektromagnit to'lqinlarni optik diapazonida nurlanish bilan birgalikda radiodiapazonda ham nurlaydilar. Bizning galaktikamiz ham bunday xususiyatga egadir. Shunday obyektlar mavjudki, ularning elektromagnit nurlanish quvvatini asosiy qismi radiodiapozonga to'g'ri keladi.

Odatdagi galaktikalarning radiodiapozonda nurlanish quvvati 10^{38} erg/s ga yetib, bu optik diapozonda nurlanishidan million marotiba kichikdir va nurlanish galaktikaning diskidan ham galosidan ham hosil bo'ladi. Ko'pchilik radiogalaktikalarda nurlanish manbaning kichik sohasidan vujudga keladi. Umuman olganda radiogalaktikada nurlanuvchi oblastning tuzilishi murakkab bo'lishi mumkin (masalan, ikkilangan radiomanbalarda).

Radiogalaktikalarning nurlanishi sinxrotron tabiatga ega bo'lib, magnit maydonlarda $V=(10^{-5} \div 10^{-4})$ Gs, harakat qiluvchi elektronlarni nurlanishi tufayli hosil bo'ladi. Elektronlarning to'la energiyasi 10^{58} - 10^{60} erg bo'lishi kerak. Bunday zarralarning to'planishiga va nurlanishiga olib keluvchi jarayonlar tabiati hali noma'lumdir. Lekin radiogalaktika-larning energiyasini juda kattaligi bunday jarayonlar zarralarning o'ta yuqori energiyalargacha tezlashtirilishi bilan bog'liq bo'lgan jarayonlar ekanligiga o'ylashga majbur etadi.

Radionurlanishlarni o'rganish natijasida, odatdan tashqari obyektlar, kvaziyulduzlar yoki kvazarlar borligi aniqlangan. Kvazarlarning hammasi bizdan juda uzoqda joylashgan bo'lib, juda kam uchraydilar. Ular odatdagi galaktikalardan 10^7 marotiba kamdir. Kvazarlar nurlanishining asosiy qismi o'lchami 10^{15} sm bo'lgan sohasidan chiqib, nurlanishining quvvati 10^{47} erg/s ga yetadi. Kvazarlar to'g'risida mavjud bo'lgan natijalar ularning yuqori faolligi yuz ming yillar davom etishini ko'rsatadi. Bundan ajraladigan energiya 10^{60} erg ga yetadi. Kvazarlar kosmik nurlarning potensial generatori hisoblanadi. Fanning oxirgi yillardagi taraqqiyoti, kvazarlar galaktikalarning yadrosi ekanligini ko'rsatdi.

Yechish uchun mashq va masalalar:

1. Faraz qilamizki, optik metod yordamida galaktika markazida o'ta yangi yulduzning chaqnashi qayd etilgan. Yadro reaksiyalari natijasida neytrino impulsi hosil bo'lgan. Neytrinolarni qayd qilish yer osti stansiyalarida energiyasi $E_\nu \sim 30 M\text{eV}$ bo'lgan neytrino qayd qilingandan $10^{-1} c$ –dan keyin energiyasi $E_\nu \sim 10 M\text{eV}$ li neytrino qayd etilgan. Bunday neytrinoning massasini baholang.

2. Energiyasi 100 GeV bo'lgan proton galoda, energiyasini yo'qotishigacha qancha vaqt bo'lishi mumkin? 100 MeV energiyali protonchi?

3. Magnit maydoni 10^{-6} Gs bo'lgan galaktikadan $10^6 - 10^8$ gs chastota intervalida sinxrotron radioto'lqin qayd etilgan. Bunday nurlanishni qanday energiyali elektronlar hosil qiladi?

Sinov savollari:

1. Galaktikalarning tuzilishini tushuntiring.
2. Galaktika galosi nima va u qanday strukturaga ega.
3. Galaktika qo'ltiqlari orasidagi fazo tuzilishini tushuntiring.
4. Galaktikaning umumiy magnit maydoni qanday maydon, uning vasifasi nimadan iborat?
5. Sinxrotron nurlanish deb qanday nurlanishga aytiladi?
6. O'ta yangi yulduzlar deb qanday yulduzlarga aytiladi?
7. O'ta yangi yulduzlarning sinxrotron nurlanishini tushuntiring.
8. Gravitasion kollaps nima va bunday jarayonlar natijasida qaysi yulduzlar paydo bo'ladi?
9. Qanday yulduzlarga neytron yulduzlar deyiladi?
10. Pulsarlar neytron yulduzlardan qanday farq qiladi.
11. Qanday obyektlarga radiogalaktikalar deyiladi?
12. Kvaziyulduzlar deb qanday yulduzlarga aytiladi?
13. Kosmik nurlarning potensial manbalarini nomlab sanang.

Adabiyotlar:

1. T.A.Alimov, B.M.Maxmudov. «Cherenkovskiy metod izucheniya kosmicheskix luchey sverxvisokix energiy». Izd-vo SamGU, 2004.
2. V.S.Murzin. «Vvedeniye v fiziku kosmicheskix luchey» Izd-vo MGU, 1988.
3. Dorman L.I. Variatsii galakticheskix kosmicheskix luchey. M.: Izd-vo MGU, 1975.
4. B.D.Abduraxmonov, T.A.Alimov, B.M.Maxmudov, N.S.Sirojev. Magnitnaya polya solnsa i gelioseysmologiya, Sankt-Peterburg, 1994, s.17.

2.3. Galaktik kosmik nurlar.

Galaktik kosmik nurlarning ximiyaviy tarkibi va energetik spektri.

Reja: I. Galaktik kosmik nurlarning ximiyaviy tarkibi.
II. Galaktik kosmik nurlarning energetik spektri.
III. Elektronlar va galaktika.
IV. Fotonlar.

Darsning maqsadi: Talabalarga galaktik kosmik nurlarning ximiyaviy tarkibi va energetik spektrini tushuntirish.

Tayanch iboralar: galaktika, o'ta yangi yulduzlar, protonlar, yadrolar, elektronlar, γ -kvantlar, sinxrotron nurlanish, radionurlar, diffuz nurlanish, diskret manbalar, atmosfera yogdusi.

Dars o'tish vositalari: sinf doskasi, plakatlar, darsliklar, o'quv uslubiy qo'llanmalar, fizik lug'atdan foydalanish, tarixiy ma'lumotlar.

Dars o'tish usullari: takrorlash, suhbat va savol-javob hamda munozara asosida jonli muloqot o'tkaziladi, masalalar yechiladi, iboralarga izohlar beriladi.

I. Galaktik kosmik nurlarning ximiyaviy tarkibi.

Kosmik nurlar deb koinotda tug'ilgan katta energiyalargacha tezlashtirilgan zarralar (yadrolar, ko'pchiligi protonlar) dastasiga aytiladi. Amalda kosmik nurlar energiyasi bir necha MeV-dan katta bo'lgan koinotdan Yerga tushayotgan zarralardir.

Energiyasi $E_0 \approx 0,1 - 10^5 \text{ Гэв}$ intervalda yotuvchi zarralarning xarakteristikalar (zaryadi, energiyasi, ximiyaviy tarkibi va hokazolar) to'g'ri yo'l bilan Yerning sun'iy yo'ldoshlarida o'rnatilgan asboblarda yordamida o'lchansa, energiyasi $E_0 > 10^{15} \text{ eV}$ bo'lgan zarralarning xarakteristikalar teskari yo'l bilan keng atmosfera yog'dusini qayd qilish yo'li bilan aniqlanadi. Keng atmosfera yog'dusi, birlamchi kosmik zarrani Yer atmosferasidan o'tish jarayonida yuz beruvchi yadro elektromagnit kaskadi deb ataluvchi jarayon natijasida hosil bo'lib, turli xil zarralarning dastasidan iborat bo'lib, Yer yuzida katta maydonlarda sochilgan bo'ladi.

Hozirgi paytda olingan eksperimental natijalar geliosferaga mansub bo'lib, bu joyda Quyosh faoliyati ta'siri ostida birlamchi kosmik nurlarning xarakteristikalar o'zgargandir.

Kosmik nurlarni ximiyaviy tarkibi va energetik spektrini o'rganib, ma'lum modellar yordamida bunday zarralarning manbasidagi ximiyaviy tarkibi va spektri qanday bo'lishini aniqlash mumkindir.

Kosmik zarralarni ximiyaviy tarkibini aniqlashga doir birinchi tajribalar Bradt, Pitors va boshqalar tomonidan 1949 yili amalga oshirilgandir. Buning uchun ular fotoemulsiyadan foydalangan. Tajribada aniqlanishicha, kosmik nurlarning

tarkibida protonlardan tashqari turli (Li, Be, B) elementlarning yadrolari mavjuddir, bunday elementlar Quyosh sistemasida kamdir.

Zarralarni ximiyaviy tarkibini aniqlashda berilgan kosmik zarra o'zining zaryadiga ko'ra qaysi yadrolar gruppasiga mansub ekanligini ko'rsatish odat bo'lgan (1-jadval). Guruhlarga ajratishda berilgan gruppaga kiruvchi yadrolar qandaydir xususiyatlariga ko'ra bir-biriga yaqin ekanligi hisobga olinadi. L gruppaga yengil yadrolar kirganki, ular yulduzlarda uchramay, kosmik nurlarning tarkibiga kiradi. M gruppaga mansub bo'lgan yadrolar yengil yadrolar bo'lib, ular koinotda ham, kosmik nurlar tarkibida ham bir xilda mavjuddir. V va VH gruppalariga shunday yadrolar kirganki, ular koinotda juda kam uchraydi. Shu vaqtgacha bir nechta zaryadi $Z \geq 90$ bo'lgan yadrolar qayd etilgandir. Ko'pchilik modellarda kosmik zarralarning manbai yulduzlar deb olinadi va bu yulduzlardan qayd qilingan kosmik zarralar tarkibi yulduz tarkibidek bo'ladi.

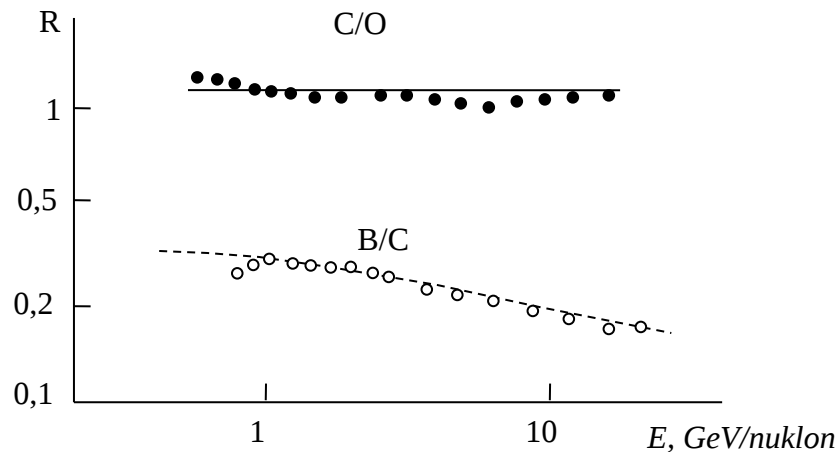
Kosmik zarralar manbadan chiqib Yerga yetib kelguncha bo'laklarga bo'linadi, ya'ni fragmentasiyalanadi. Fragmentasiya natijasida shunday yadrolar paydo bo'ladiki (Li, Be, B va boshkalar), ular manbada juda kamdir. Masalan, L gruppasiga kiruvchi yadrolar M gruppasiga kiruvchi yadrolarga ko'ra manbada 10^6 marotiba kamdir. Kosmik nurlarda esa bu nisbat quyidagichadir:

$$\frac{N_L}{N_M} = (2 \pm 0,3) / (6,7 \pm 0,3) = 0,30 \pm 0,05$$

1-jadval. Energiyasi $E > 2,5$ GeV/ nuklon bo'lgan zarralarning ximiyaviy tarkibi.

Yadrolar Gruppasi	Z	Intensivligi ($M^2 \cdot c \cdot cp$) ⁻¹
P	1	1300 ± 100
α	2	94 ± 4
L	3 ÷ 5	2,0 ± 0,3
M	6 ÷ 9	6,7 ± 0,3
H	10	2,0 ± 0,3
H ₁	10 ÷ 14	1,4 ± 0,4
H ₂	15 ÷ 19	0,1 ± 0,1
VH	20	0,5 ± 0,2

Kosmik nurlar ximiyaviy tarkibini asosiy xususiyati uning energiyaga bog'liqligidir. Energiya oshishi bilan ikkilamchi yadrolar hissasi, masalan, Li, Be, B, N va zaryadi $17 \leq Z \leq 27$ intervalda yotgan yadrolarning hissasi kosmik nurlar tarkibida kamayib boradi (rasm 5a.).



Rasm 5a. HEAO -3 Yerning sun'iy yo'ldoshi yordamida qayd etilgan, kosmik nurlar ximiyaviy tarkibining energiyaga bog'lanishi R – turli yadrolar oqimining nisbati.

Fragmentasiya parametrlari energiyaga bog'liq bo'lmaganligi sababli ikkilamchi yadrolar hissasini o'zgarishi birlamchi yadrolar bir qismi galaktikadan oqishi, ya'ni chiqib ketishi bilan tushuntiriladi, energiyaning oshishi bilan bunday jarayon kuchayadi.

Energiyasi 10^3 GeV-dan katta bo'lgan energiya intervalida kosmik nurlar tarkibi to'g'risidagi eksperimental natijalarni deyarli barchasi teskari yo'l bilan olingandir. Unda kosmik nurlarni Yer atmosferasidan o'tishida hosil bo'lgan keng atmosfera yog'dusining xarakteristikalarini o'lchashdan foydalanadilar. Keng atmosfera yog'dusidagi myuonlar soni N_m yoki elektronlar soni N_e larning fluktuasiyalari birlamchi energiya E_0 ning berilgan qiymati uchun birlamchi kosmik nurlarning ximiyaviy tarkibiga bog'liqdir. Bu sohada ishlovchi ko'pchilik fiziklarni qayd qilishicha, 10^6 - 10^7 GeV energiyalargacha, birlamchi kosmik nurlar tarkibida protonlar ham, yadrolar ham mavjuddir.

Energiyasi 0,1 TeV dan katta bo'lgan kosmik zarralarni taxminiy yadroviy tarkibi 2-chi jadvalda keltirilgandir. Zarralarning energiyasi bitta yadro – J_{ya} hisobida berilgandir. Bitta nuklon hisobidagi bir xil energiyali zarralar intensivliklari nisbati boshqacha bo'lib, quyidagi formula yordamida hisoblanishi mumkin:

$$J_H(A_1)/J_H(A_2) = J_{\mathcal{A}}(A_1)/J_{\mathcal{A}}(A_2)(A_2/A_1)^\gamma$$

bunda γ - spektrning ko'rsatkichi.

2 – jadval. Yuqori energiyalar soxasida kosmik nurlar yadrolarining intensivligi.

Zarralar	Energiya, Tev		
	$0,1 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-9}$	10×10^{-11}
P	56 ± 5	$11,5 \pm 3,5$	$1,90 \pm 0,40$
He	$34 \pm 3,1$	$6,25 \pm 0,62$	$0,98 \pm 0,26$
B	$0,56 \pm 0,01$	$0,10 \pm 0,04$	$0,01 \pm 0,01$
C, N, O	$12,6 \pm 1,0$	$3,44 \pm 0,36$	$1,07 \pm 0,37$
$10 < g < 16$	$8,6 \pm 1,2$	$3,55 \pm 0,55$	$0,6 \pm 0,3$
$17 < g < 20$	$0,61 \pm 0,08$	$0,30 \pm 0,07$	$0,08 \pm 0,03$
$21 < g < 25$	$0,37 \pm 0,07$	$0,35 \pm 0,07$	$0,07 \pm 0,02$
$26 < g < 30$	$1,47 \pm 0,25$	$2,05 \pm 0,43$	$0,98 \pm 0,52$
Summa	$114,2 \pm 6,1$	$27,54 \pm 3,64$	$5,75 \pm 0,85$

Birlamchi kosmik zarralarning $10^{15} \div 3 \cdot 10^{16}$ eV energiya intervalida kosmik nurlar ximiyaviy tarkibini aniqlashda mualliflar keng atmosfera yog'dusining tarkibidagi elektronlar soni N_e ning, birlamchi zarrachaning energiyasini berilgan qiymatidagi fluktuasiyalarini o'lchash metodidan foydalangan. Bunda birlamchi kosmik zarra energiyasini qiymati Cherenkov nurlanishi oqimini (aniqrog'i keng atmosfera yog'dusidan 100 metr masofadagi zichligini o'lchash) o'lchash metodidan foydalangan holda topilgan. Ko'rsatilishicha, Cherenkov nurlanishini oqimi birlamchi zarra energiyasiga bir qiymatli bog'liqdir va shuning uchun birlamchi energiyani katta aniqlik bilan topish imkonini beradi. Olingan natijalarni ko'rsatishicha, $10^{15} \div 3 \cdot 10^{16}$ eV energiya intervalida birlamchi kosmik nurlarning ximiyaviy tarkibi quyidagicha: 40% protonlar va 15% - dan quyidagi yadrolar ($A=4$, $A=15$, $A=29$, $A=56$, A -yadro massa soni). Bu olingan natijalar boshqa metodlar bilan olingan natijalarga mos keladi.

II. Galaktik kosmik nurlarning energetik spektri.

Kosmik nurlar tarkibida energiyasi 10^{-3} dan 10^{11} GeV energiya intervalida yotgan zarrachalar qayd qilingan. To'la energiya intervalida yotgan zarralarni birdaniga qayd qilishi mumkin bo'lgan qurilma hali mavjud emas. Mavjud bo'lgan qurilmalar turli energetik intervaldagi zarralarni qayd qila oladi. Birinchi marotiba kosmik zarralarni energetik spektrini o'lchashga asoslangan qurilma, kosmik nurlarni geomagnit effektini o'rganishga asoslangan, bu metod yordamida energiyasi o'nlab GeV-ga teng bo'lgan zarralar qayd qilingan.

Energiyasi 10 dan 10^6 GeV-gacha bo'lgan zarralarni energetik spektri Yerning sun'iy yo'ldoshlarida o'rnatilgan ionizasion kalorimetrlar yordamida o'lchangandir.

Energiyasi 10^6 GeV dan katta bo'lgan zarralarni intensivligi juda pastligi sababli bunday zarralarni qayd qilishga mo'ljallangan qurilmalar katta texnik qiyinchiliklarga uchraydi. Shunday bo'lishiga qaramasdan, bunday zarralarni qayd

qilishda ham kalorimetrik metodga yaqin bo'lgan metodlardan foydalanish mumkindir. Gap shundaki, kosmik zarralarning yadroviy ta'siri chopish masofasi λ va radiasion uzunlik t quyidagicha bog'langan: $t = \lambda/2$, shuning uchun keng atmosfera yog'dulari kaskad chiziqlarining qo'shilishida hosil bo'lgan va atmosferaning biror sathida o'lchangan zarralar soni birlamchi zarraning energiyasiga proporsional bo'ladi. Isbotlanishicha, keng atmosfera yog'dusining Cherenkov nurlanishini to'la oqimi birlamchi zarra energiyasi bilan bir qiymatli bog'liqdir. Atmosferaning berilgan sathida Cherenkov nurlanishini to'la oqimini o'lchab, energiyani katta aniqlik bilan topish mumkindir.

Kosmik nurlarning energetik spektrini turli metodlar bilan o'lchanishi ularni turli xususiyatlarini aniqlab berdi. Kosmik nurlar energetik spektrini xususiyati energiya oshishi bilan zarralar intensivligini keskin kamayib borishidir.

10^5 dan 10^6 GeV energiya intervalida integral intensivlik (energiyasi berilgan energiyadan katta bo'lgan zarralar soni) qariyb 50 marotiba kam bo'ladi. Bunday natijani analitik ravishda quyidagi darajali funksiya bilan ifodalash mumkin.

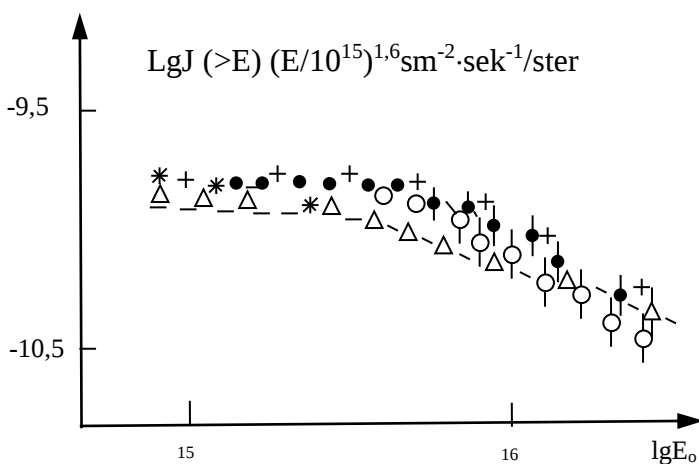
$$I(E_o)dE_o = AE_o^{-\gamma}dE_o \quad (2.4)$$

Keng energiya intervalida (10^6 GeV-gacha), funksiya ko'rsatgichi $\gamma \approx 2,75$ ga tengdir. Yerning "Proton" sun'iy yo'ldoshida o'rnatilgan ionizasion kalorimetr yordamida muhim natija olingan ko'rsatilishicha:

$$I(E_o) = (2,0 \pm 0,2)E_o^{-2,75 \pm 0,03} (cm^2 \cdot c \cdot cp \cdot \Gamma \partial B)^{-3} \quad (2.5)$$

Energetik spektrini boshqa muhim xususiyati $(1 \div 3)10^6$ GeV energiya intervalida uning qiyaligini $\gamma = 3,2 \pm 0,1$ gacha o'zgarishidir. Spektr qiyaligini bunday o'zgarishi birinchi marotaba mashhur rus olimlari S.N.Vernov va G.B.Xristiansenlar tomonidan kursatilgandir. (2.4)-ni hisobga olib zarralarni energetik spektrini quyidagicha yozish mumkindir.

$$I(>E) = \int_E^{\infty} AE_o^{-\gamma}dE_o = AE_o^{-\gamma+1}/(\gamma-1)(M^2 \cdot c \cdot cp)^{-1} \quad (2.6)$$



Rasm 56. Birlamchi kosmik nurlarning $10^{15} \div 3 \cdot 10^{16}$ eV energiya intervalidagi energetik spektri.

Kosmik zarralar energetik spektrini maxsus masshtabda chizib uni qiyaligini o'zgarishini yaqqol ko'rsatish mumkindir. U holda energiyasi 10^6 GeV-dan kichik bo'lgan zarralarni spektri koordinat sistemasini absissa o'qiga parallel bo'ladi. 5-rasmda, mualliflar tomonidan Samarqand keng atmosfera yog'dusi qurilmasi yordamida aniqlangan energetik spektr ko'rsatilgan.

Bu tajribada birlamchi

kosmik zarralarning energiyasi, keng atmosfera yog'dusining Cherenkov nurlanishi to'la oqimini aniqlash yo'li bilan aniqlagandir. Olingan spektrlarni quyidagicha funksiyalar bilan ifodalash mumkindir.

$$F(> E_0) = (1,9 \pm 0,3) \cdot 10^{-10} \left(\frac{E_0}{10^{15}} \right)^{-1,63 \pm 0,09} \text{ cm}^2 \cdot \text{cek}^{-1} \cdot \text{cmep}^{-1}; 1,5 \cdot 10^{15} \leq E_0 \leq 3,5 \cdot 10^{15} \quad (2.7)$$

$$F(> E_0) = (5,2 \pm 0,8) 10^{-10} \left(\frac{E_0}{10^{15}} \right)^{-2,30 \pm 0,12} \text{ cm}^2 \cdot \text{cek}^{-1} \cdot \text{cmep}^{-1}; 5 \cdot 10^{15} < E_0 \leq 2,0 \cdot 10^{16}$$

Rasm va formulalardan ko'rinib turibdiki, kosmik zarralarning energetik spektrini qiyaligi $(3 \div 5) \cdot 10^{15} \text{ eV}$ energiyada o'zgaradi (1,7 dan 2,3gacha). Samarqandda Cherenkov nurlanishidan foydalanish kosmik nurlarning absolyut intensivligini topish imkonini berdi. Energiyasi 10^{15} eV dan katta zarralarning absolyut intensivligi $2 \cdot 10^{-10} (\text{cm}^2 \cdot \text{c} \cdot \text{cp})^{-1}$ ni tashkil qiladi.

Yakutiya va Xavera Park ustanovkalarida olib borilgan izlanishlarning ko'rsatishicha, kosmik nurlar spektrining qiyaligi $\sim 3 \cdot 10^8 \text{ GeV}$ energiya atrofida yana bir marotaba o'zgaradi.

Kosmik nurlarning ximiyaviy tarkibi va energetik spektrini aniqlashda olingan natijalar, kosmik nurlar astrofizikasida zarralarni paydo bo'lishi va koinotda tarqalish mexanizmini tushunishda katta ahamiyatga egadir.

III. Elektronlar va Galaktika.

Elektronlarning identifikatsiyasi elektromagnit kaskad yordamida amalga oshiriladi. Qayd qiluvchi asbobning tarkibida qo'rg'oshin plastinkasi bo'lib, unda elektromagnit kaskad vujudga keladi. Elektron energiyasi kaskad chizig'ining maksimumiga to'g'ri keluvchi zarrachalar soni orqali topiladi. Zarralarning soni esa ssintillyasion yoki Cherenkov nurlanishi schyotchiklari yordamida o'lchanadi. Tajribalar balonlarda yoki Yerning sun'iy yo'ldoshlarida o'rnatilgan asboblarda yordamida o'tkaziladi.

O'lchashlarning ko'rsatishicha elektronlarning 1 GeV energiyadan kichik soxasida intensivlik vaqtga va Quyosh aktivligiga bog'liq ravishda juda katta o'zgaradi. 10 GeV -dan katta energiya soxasida elektronlar spektrining qiyaligi oshadi va J ni quyidagi darajali funksiya bilan ifodalash mumkindir.

$$J_e(E) = 500 E^{-3,25 \pm 0,20} (\text{M}^2 \cdot \text{c} \cdot \text{cp} \cdot \Gamma \partial B)^{-1}$$

Osonlik bilan ko'rsatish mumkinki, Yer sathida elektronlarning intensivligi xuddi shunday energiyali protonlarning intensivligidan 100 marotaba kichikdir, ya'ni elektronlar energiya zichligi, protonlar energiya zichligidan 100 marotaba kichikdir. ($\omega_e \sim 10^{-2} \partial B / \text{cm}^3$). Yuqorida elektronlarni magnit maydonida sinxrotron nurlanish mexanizmini qayd etgan edik. Bunday mexanizm galaktikadagi elektronlarni qayd qilish imkonini beradi. Galaktika magnit maydoni $B \sim 5 \cdot 10^{-6} \text{ Gs}$ dir. Hisoblashlarning ko'rsatilishicha, elektronlar $\nu \sim 10^2 \text{ MeV}$ chastota intervalida, ya'ni radioto'lqinlar oblastida nur chiqaradi. Shuning uchun qayd qilingan diapozonda radioto'lqinlarni intensivligini o'lchab, yulduzlar aro fazodagi elektronlarni dastasini aniqlash mumkindir. U Yer sathida o'lchangan qiymatiga

teng ekan. Shunday natijalar mavjudki, unga ko'ra energiyasi 2 GeV dan kichik bo'lgan elektronlar spektri 10 GeV dan kichik energiyali elektronlar spektriga ko'ra tekisroqdir.

Butun osmonning radiodiapozonida diffuz nurlanishidan tashqari, diskret nurlanish manbalari ham mavjuddir. Masalan Krabovid tumanligidan kuchli sinxrotron tabiatli nurlanish qayd etilgandir. Bundan Krabovid tumanligida kuchli elektronlar dastasi borligi kelib chiqadi. Bunday obyektning elektron hosil qilish quvvati $\sim 10^{38}$ erg/s-ga tengdir. Hozirda boshqa bunga o'xshagan obyektlar ham qayd etilgandir.

IV. Fotonlar.

Yuqorida biz kursatib utgan edikki, kosmik radioto'lqinlarni qayd etib, u yerdagi elektronlar dastasini aniqlash mumkindir. Xuddi shunday energiyasi 50- 10^3 MeV bo'lgan kosmik fotonlarni qayd qilinishi kosmik adronlarni konsentrasiyasini topish imkonini beradi. Chunki energiyasi bir necha o'n MeV bo'lgan fotonlar π^0 mezonlarni bo'linishi natijasida paydo bo'ladi. π^0 - mezonlar esa, protonlar va yadrolarning kosmik obyektlarning orasidagi muhit bilan ta'sirlashuvi natijasida hosil bo'ladi. Ma'lumki, adronlarning energiya taqsimotiga ko'ra, π^0 -pezonlarning bo'linishi natijasida hosil bo'lgan fotonlarning energiyasi $E_\gamma = m_\pi c^2 / 2$ -ga muvofiq bo'ladi. Fotonlarning intensivligi muhit zichligi va adronlarning zichligiga quyidagicha bog'liqdir:

$$J_\gamma = \rho \sigma_a x J_a \cdot 2$$

bunda, ρ – muhit zichligi, σ_a - π^0 mezonlarning tug'ilish ehtimoliyati, x – ta'sir soxasi.

Adronli ta'sir xarakteristikalarini va muhit konsentrasiyasini (vodorodni) bilib, adronlar dastasini baholash mumkindir.

Fotonlar uchun fon nurlanishi, elektronlarni tormozli nurlanishi hisoblanadi. Tormozli nurlanish hissasini to'la nurlanish ichidan baholash mumkindir. Chunki radioto'lqinlarni qayd qilish bilan elektronlar dastasi aniqlanadi. Ko'rsatilishicha, galaktikaning qo'ltiqlari tomon yo'nalishda γ – nurlanishlarning intensivligi oshadi. Gamma kvantlarni diffuz nurlanishidan tashqari, ularni diskret manbalari borligi ham aniqlangan. Masalan, oqqush x-3 va boshqalar, o'ta yangi yulduzlar, portlashining qoldiqlari. γ – nurlanishni ko'pchilik qismi pulsasiyalanadiki, yulduz pulsarning aylanishiga bog'liqdir. Pulsarlar o'ta yangi yulduz markazida joylashgan. Hozirgi paytda shunday diskret manbalar topilganki, ular radionurlardan tortib γ – nurlargacha nurlaydi. Energiyasi katta bo'lgan γ – nurlarni nurlaydigan diskret manbalarni, ulardan hosil bo'lgan keng atmosfera yog'dularini qayd qilish yo'li bilan identifikasiyalash mumkindir. Keng atmosfera yog'dusi adronlardan emas balki u, γ – kvantlardan hosil bo'lgan bo'lsa, bunday yog'dular tarkibiga μ – mezonlar juda kam bo'lishi kerak.

Yechish uchun mashq va masalalar:

1. 2-chi jadvalda keltirilgan eksperimental natijalarga ko'ra birlamchi protonlar va bor yadrolarining, 100 GeV dan 10 TeV gacha energiya intervalida, energetik spektrini ko'rsatkichini aniqlang. Spektrlarning approksimasion analitik formulalarini hosil qiling.

2. Birlamchi kosmik nurlar energetik spektrlarini (2.7) approksimasion ifodalariga ko'ra energiyasi 10^{15} eV – dan katta bo'lgan zarralarning absolyut intensivligini aniqlang.

3. Birlamchi kosmik nurlar energetik spektrlarini (2.7) approksimasion ifodalariga ko'ra energiyasi 10^{15} eV va 10^{16} eV dan katta bo'lgan kosmik zarralarni intensivliklarini solishtiring.

Sinov savollari:

1. Kosmik zarralar ximiyaviy tarkibini aniqlashning to'g'ri metodlarini tushuntiring.
2. Kosmik zarralar ximiyaviy tarkibini aniqlashning teskari metodini tushuntiring.
3. Fragmentasiya nima?
4. Yuqori energiyali zarralar ximiyaviy tarkibi qanday?
5. Kosmik zarralarning energetik spektri nima?
6. Kosmik zarralar energetik spektrlarini asosiy xususiyatlarini tushuntiring.
7. Nima uchun birlamchi kosmik zarrachani energiyasini Cherenkov nurlanishi to'la oqimini o'lchash yo'li bilan topish boshqa yo'llarga ko'ra afzal?
8. Kosmik elektronlarni energetik spektri qanday?
9. Kosmik elektronlarni intensivligini manbasida qanday aniqlash mumkin.
10. Galaktikadagi relyativistik adronlarning konsentrasiyasi qanday aniqlanadi?
11. Kosmik γ – kvantlarni keng atmosfera yog'dusi yordamida identifikatsiyalash mumkinmi?
12. Kosmik γ – kvantlarni energetik spektri qanday xususiyatlarga ega?
13. Kosmik elektronlarni spektrlari qanday xususiyatlarga ega?

Adabiyotlar:

1. T.A.Alimov, B.M.Maxmudov. «Cherenkovskiy metod izucheniya kosmicheskix luchey sverkhvysokix energiy». Izd-vo SamGU, 2004.
2. V.S.Murzin. «Vvedeniye v fiziku kosmicheskix luchey» Izd-vo MGU, 1988.
3. Dorman L.I. Variasii galakticheskix kosmicheskix luchey. M.: Izd-vo MGU, 1975.
4. B.D.Abduraxmonov, T.A.Alimov, B.M.Maxmudov, N.S.Sirojev. Magnitnaya polya solnsa i gelioseysmologiya, Sankt-Peterburgt, 1994, s.17.

§2.4. Galaktikamizning magnit maydoni va uning tuzilishi .

- Reja:** I. Magnit maydon qattiqligi va zarralarning impulsini aniqlash.
II. Yerning magnit maydoni.
III. Kosmik nurlar intensivligini uzunlik va kenglik effektlari.

Darsning maqsadi: Talabalarga magnit maydoni, magnit maydon kuchlanganligi va qattiqligi, zarralarning qattiqligi to'g'risida ma'lumotlar beriladi.

Tayanch iboralar: zarralarning magnit qattiqligi, magnit maydon qattiqligi, kenglik λ , uzunlik ϕ , zenit burchagi θ , azimutal burchagi φ , Yerning magnit maydoni, zaryad, magnit maydon induksiyasi, kenglik effekti, uzunlik effekti, impulsli spektri.

Dars o'tish vositalari: sinf doskasi, plakatlar, darsliklar, o'quv uslubiy qo'llanmalar, fizik lug'atdan foydalanish, tarixiy ma'lumotlar.

Dars o'tish usullari: takrorlash, suhbat va savol-javob hamda munozara asosida jonli muloqot o'tkaziladi, masalalar yechiladi.

I. Magnit maydon qattiqligi va zarralarning impulsini aniqlash.

Birinchi marotiba korpuskulyar kosmik zarrachalarini borligi magnit maydonida joylashtirilgan Vilson kamerasi yordamida aniqlangan. Ko'pchilik kosmik zarralar elektr zaryadiga ega bo'lganligi sababli magnit maydonidan o'tayotganda ma'lum burchakga og'adi. Magnit maydonida Zye zaryadli zarraning harakat tenglamasi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{d}{dt}(mV) = \frac{Ze}{c} [\vec{V} \vec{B}] \quad (5.1)$$

bunda $m = m_0 / \sqrt{1 - V^2/c^2}$ - zarraning massasi, v uning tezligi, c yorug'lik tezligi, B – magnit maydonning induksiya vektori. Bu tenglamaning o'ng tamoni Lorens kuchini ifodalaydi. Bu kuch zarrachani tezligiga perpendikulyar ravishda ta'sir etganligi sababli, ish bajarmaydi. Shuning uchun vaqtga bog'liq bo'lmagan magnit maydonlarida harakat qiluvchi zarralarining tezligi va massasi uzgarmas bo'lib, uning tezligini yo'nalishi o'zgaradi. Shuning uchun bu holda (5.1) tenglamani quyidagicha yozish mumkin.

$$m \frac{dV}{dt} = \frac{Ze}{c} [\vec{V} \vec{B}] \quad (5.2)$$

Zarrachaning tezlik vektori $\vec{V}$ - ni ikkita $V_x \perp \vec{B}$ va $V_y \parallel \vec{B}$ tashkil etuvchilarga ajratamiz. Tezlikning paralel tashkil etuvchisi $v_y = \text{const}$ bo'lib, u spiralsimon radiusi R ga teng bo'lgan trayektoriya bo'ylab harakat qiladi. Spiralsimon trayektoriya radiusi R – ning qiymatini, markazga intilma kuch va Lorens kuchi tengligidan foydalanib topish mumkindir.

$$\frac{mV_x}{R} = \frac{Ze}{c} B; \frac{P_x * c}{Ze} = BR \quad (5.3)$$

Bu formulada $P_x, \vec{B}$ vektorga perpendikulyar bo'lgan tekslikda zarracha impulsini proyeksiyasi. Shunday qilib zarrachaning trayektoriyasi magnit maydon kuch chizig'i atrofidagi spiraldan iboratdir. $\frac{P * c}{Ze} = \varepsilon$ kattalik zarraning zaryadi birligidagi energiyasidan iborat bo'lib, unga zarrachaning magnit qattiqligi deyiladi. Magnit qattiqlik voltlarda o'lchanadi. Bir xil qattiqlikka ega bo'lgan zarrachalar bir xil trayektoriya bo'ylab harakat qiladi. Zarrachalarning qattiqligini hisoblashda pc – elektronvoltlarda, V - gauslarda, R – santimetrlarda, Ze – elektron zaryadi birligida ifodalangan formuladan foydalanish qulaydir, u holda

$$\varepsilon = pc/Z = 300BR \quad (5.4)$$

kosmik zarralarni magnit maydonida sochilishiga ko'ra, impulsini o'lchash metodidan, magnit maydonda joylashtrilgan Vilson kamerasida va magnit spektrometrlarida keng foydalaniladi.

II. Yerning magnit maydoni.

Yer, Yupiter, Quyosh va butun Quyosh sistemasi magnit maydoniga ega. Magnit maydonlari, koinotda o'tuvchi ko'pgina jarayonlarga katta ta'sir ko'rsatadi. Demak kosmik zarralarning harakatiga ham ta'sir kursatadi. Kosmik zarralar Yer yuziga tushishida Yerning magnit maydonidan o'tadi va magnit maydon ularning tabiiy magnit spektrometri hisoblanadi. Shuning uchun Yerning magnit maydonining tuzilishini bilish kosmik nurlar fizikasida katta rol uynaydi.

Birinchi yaqinlashuvda Yerning magnit maydonini momenti $8,1 \cdot 10^{25} \text{Gs} \cdot \text{sm}^3$ ga teng bo'lgan dipol magnit maydoni kabi tasavvur etish mumkin. Bu dipol Yerning markazidan 340 km masofada joylashgandir. Dipolning o'qi Yer sathi bilan geomagnit qutblari deb ataluvchi nuqtalarda kesishadi. 1965 yilda geomagnit qutblarining geografik koordinatalari quydagicha edi: $75^{\circ}36'$ shimoliy kenglik, 101° g'arbiy uzunlikda shimoliy yarimsharda (Kanada shimolida), va $66^{\circ}18'$ janubiy kenglik, 141° sharqiy uzunlik (Antraktitda) joylashgan edi.

Geomagnit qutblar, geografik qutblar bilan ustma-ust tushmaydi. Yerning sun'iy yo'ldoshlari yordamida o'tkazilgan o'lchashlarning natijalariga ko'ra magnit maydonini juda kupol yaqinlashuvda dipol maydoni deb hisoblash mumkin.

Yerning magnit maydonini uning kvadrupol va aktupol tashkil etuvchilarini hisobga olgan holda aniq ifodalash mumkindir. Lekin magnit maydonini zaryadlangan zarralarga ta'sirlarini asosiy effektlarini uni dipol maydoni deb hisoblab aniqlash yetarlidir.

Ma'lumki, dipolning magnit maydoni quyidagi qonunga ko'ra masofaga bog'liq ravishda kamaydi

$$B = \mu / R^3 \quad (5.5)$$

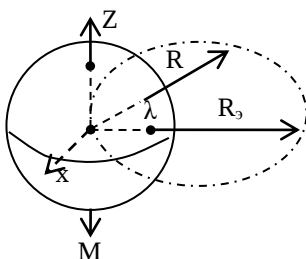
bunda μ - dipolning magnit momenti, R – uning markazidan boshlab o'lchanuvchi masofa. Magnit maydonini kuch chiziqlari magnit meridiani teksligida joylashib quyidagi tenglama bilan ifodalanadi.

$$R = R_e \cos^2 \lambda \quad (5.6)$$

Bunda R_e – ekvatorida kuch chiziqlarigacha bo'lgan masofa, λ – magnit kenglik (rasm 13a). Magnit maydon kuchlanganligi kuch chizig'i bo'ylab quyidagi qonunga ko'ra o'zgaradi.

$$B(\lambda) = \left(\frac{\mu}{R_e^3} \right) \sqrt{4 - 3 \cos^2 \lambda} / \cos^6 \lambda \quad (5.7)$$

Qutblarga tomon bitta kuch chizig'i bo'ylab kuchlanganlik oshib boradi.



Rasm 13a. Geomagnit dipolning kuch chizig'i, λ – geomagnit kenglik, μ – magnit momenti, R_e – ekvatorida kuch chizig'igacha bo'lgan masofa.

Kosmik zarralarning magnit maydonidagi harakati bilan bog'liq bo'lgan barcha sifatiy hodisalarni Shtermer nazariyasi yordamida ifodalash mumkin.

Cheksizlikdan kelayotgan har qanday zarra ham Yer yuziga tushmaydi. Agar kosmik zarraning impulsi yetarli kichik bo'lsa u Yer sathidan katta balandlikda magnit maydoni tomonidan ag'dariladi. Zarraning qattiqligini oshishi bilan u magnit maydonida chuqurroq kirib boradi va $\xi_{\min}$ –ga teng bo'lgan chegaraviy qattiqlikdan boshlab Yer sathiga tushadi. Kosmik zarralarning kelishi yo'nalishi kenglik λ – ga bog'liq bo'lib zenit burchagi θ va azimutal burchagi φ – bilan aniqlanadi. $\varepsilon > \xi_{\min}$ dan boshlab zarralar Yerga θ va φ – ga nisbatan kengroq burchak intervallarida keladi. Shunday qilib, $\xi > \xi_{\min}$ bo'lgan holda kosmik zarralarning magnit maydonida ruxsat etilgan kelish yo'nalishlari mavjuddir.

Zarralarning magnit maydonidagi harakatini o'rganishda Liuvil teoremasi katta yordam kursatadi. Bu teoremani ma'nosi quyidagicha: agar kosmik zarralar izotrop bo'lsa u holda Yer magnit maydonini ta'siri ruxsat etilgan yo'nalishlar sohasida kosmik zarralarning intensivligini va burchak bo'yicha taqsimlanishini o'zgartirmaydi. Boshqacha qilib aytganda, geomagnit maydon osmon sferasini ma'lum yo'nalishlarida kosmik zarralarni ekranlashtirilsa, boshqa yo'nalishlarda ularni o'zgartirmaydi. Aniklanishicha kosmik zarralar yuqori darajali bir jinsligi bilan ajraladi. Shuning uchun kosmik zarralarning magnit maydonidagi trayektoriyasini bilish shart emas. Kosmik zarralar izotropligi uchun Yer sathining berilgan nuqtasiga ular qayerdan kelganligini bilish shart emas.

Faqatgina ruxsat etilgan yo'nalishlarni va impulsni chegaraviy qiymatininga bilish shart. Bunday masalani birinchi marotiba Shtermer hal etgan.

Uning ko'rsatishicha, impuls p - ning berilgan qiymati uchun, har qanday kenglikda ruxsat etilgan yo'nalishlarning katta soxalari, ya'ni asosiy konuslar mavjuddir. Asosiy konusga Shtermer konusi yopishib bu konus buyicha barcha yo'nalishlar taqiqlangandir.

III. Kosmik nurlar intensivligining kenglik va uzunlik effektlari.

Yer magnit maydonidan o'tayotgan zarralar uchun ularni chegaraviy impulslarining mavjudligi (impulsi, chegaraviy impulsdan katta bo'lgan zarralargina Yer sathigacha yetib boradi), chegaraviy impuls qiymatining geomagnit kenglikga bog'liqligi, zarralarning intensivligining geomagnit kenglikga bog'liq ekanligini ko'rsatadi. Kosmik zarralar intensivligining geomagnit kenglikga bog'liqligini, ularning geomagnit kenglik effekti deyiladi. Kosmik zarralar geomagnit kenglik effektidan foydalanib, zarralarning impulsli spektrlarini aniqlash mumkindir. Bundan tashqari kosmik zarralar impulslarining chegaraviy qiymati sharq va g'arb yo'nalishlarga bog'liq ravishda farq qiladi, bundan ularning intensivligi azimutga bog'liq ekanligi kelib chiqadi. Kosmik zarralar intensivligining azimutga bog'liq ekanligiga, ularning azimutal effekti deyiladi. Kosmik nurlarning azimutal effektidan foydalanib ularning elektr zaryadlarini aniqlash mumkindir.

Birinci marotiba o'tkazilgan o'lchashlarni, o'zigina kosmik zarralar, zaryadli zarralar ekanligini ko'rsatgan. Kosmik nurlarning kenglik effekti birinchi marotiba rus olimi S. N. Vernov tomonidan Sankt – Peterburg va Yerevan shaharlarida 1936 yili o'tkazilgan tajribalarda o'rganilgan. Buning uchun shar-zondlardan foydalanib, atmosferaning yuqori qatlamlariga ko'tarilgan asboblar ishlatilgan. Kosmik nurlarning chegaraviy impulslarini geomagnit kenglikga bog'liqligidan, kosmik nurlarning Yer ekvatoridagi intensivligini berilgan vaqtda minimal ekanligi kelib chiqadi. Bundan foydalanib, turli geografik kengliklarda kosmik nurlarning intensivligini o'lchash yo'li bilan geomagnit ekvator o'rnini aniqlash mumkindir. O'lchashlarning ko'rsatishicha, Yerning magnit maydonida uning aktupol tashkil etuvchisining hissasi kattadir.

Dipolning markazini va Yer markazini bir joyda emasligi, hamda tashkil etuvchilarining ta'siri shunga olib keladiki, chegaraviy impulslarning (yoki qattiqlikning) qiymati, g'arbiy va sharqiy yarim sharlarda, bitta geomagnit kenglikda, Yer sathida bir xil masofalarda turlichadir. Shuning uchun kosmik nurlar intensivligi nafaqat kenglikga bog'liq, balki uzunlikga ham bog'liq ravishda o'zgaradi. Kosmik nurlar intensivligining uzunlikga bog'liqligiga, ularning uzunlik effekti deyiladi. Xulosa qilib aytish mumkinki, kosmik nurlar intensivligi ham geomagnit kenglikga ham geomagnit uzunlikga bog'liqdir.

Hozirgi paytda shunday matematik metodlar mavjudki, ular yordamida Yer sathining turli nuqtalari uchun zarralar chegaraviy impulslarini qiymatini (magnit maydon qattiqligini) nazariy yo'l bilan hisoblash mumkindir. Topilgan chegaraviy impulslar qiymatlaridan foydalanib, kosmik nurlar energetik spektrlarini ba'zi xarakteristikalarini topish mumkin.

Liuvil teoremasidan $p > p_{\min}$, bo'lgan zarralarning intensivligi o'lchangan qiymati zarralarning magnit maydonidan tashqaridagi intensivligiga tengligi kelib chiqadi.

1949 yilda rus olimlari S. N. Vernov va A. N. Charaxchyanlar tomonidan birinchi marotiba komik nurlarning energetik spektri o'lchangan. Buning uchun ular Shar – zondlarga o'rnatilgan va yuqoriga ko'tarilgan teleskoplardan foydalanganlar.

O'lchashlarning ko'rsatishiga 4 dan 20 G=v/s impuls intervalida, kosmik zarralarning integral spektrini quyidagi darajali funksiya bilan ifodalash mumkindir.

$$N(> p) = Ap^{-(\gamma+1)} \quad (5.8)$$

$R^2c^2 \gg m^2c^4$ bo'lganda energiya va impuls bir – biridan farq qilmaydi, shuning uchun

$$N(> E) \approx BE^{-(\gamma+1)}$$

yozish mumkin bo'lib, $\gamma-1 = -1,5$ dir. Bunga mos ravishda differensial spektrni quyidagicha ifodalash mumkindir:

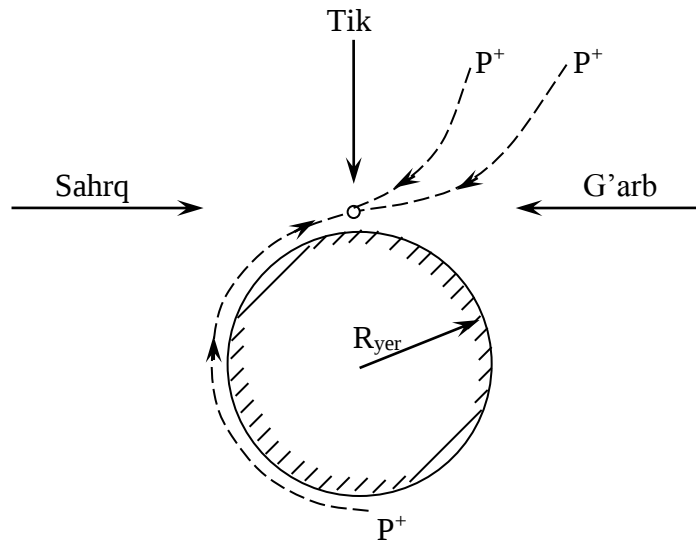
$$\frac{dN}{dE} = \left(\frac{B}{\gamma} \right) \left(\frac{1}{E^\gamma} \right) = A_0 E^{-\gamma} \quad (5.9)$$

γ - ga energetik spektrning ko'rsatkichi deyiladi.

Yechish uchun mashq va masalalar:

1. Energiyasi 10^{10} ev bo'lgan protonlarning magnit qattiqligini hisoblang.
2. Sharq tomondan kelayotgan musbat zaryadlangan kosmik zarracha, ekvator tekisligida perpendikulyar joylashtirilgan asbob tomonidan qayd qilinishi uchun, qanday impuls ega bo'lishi kerak?

13 b. rasmdan ko'rinayaptiki, Yerdan uzoq masofada vertikal bo'yicha harakat qilayotgan musbat zaryadli zarracha, sharq tomonga og'adi, shuning uchun sharq tomonga qaratilgan teleskopga bunday zarra tushmaydi. Bunday kosmik zarracha Yerga, sharq tomondan gorizont ravishda tushishi uchun, u Yerni aylanib o'tishi kerak, shuning uchun uning trayektoriyasining radiusi kamida Yer radiusiga teng bo'lishi kerak. U holda musbat zaryadga ega bo'lgan zarra uchun $E = PC = 300 B R_{ep}^{-2}$ formuladan, $E = 300 M R_{ep}^{-2} = 59,3 \Gamma \text{эв}$ bo'ladi. G'arb tomonidan gorizont bo'yicha bundan kichik impulsli zarra kelishi mumkin.



Rasm 13.b. Protonlarning ekvatorida gorizontaal yo'nalishidagi harakati. Sharq tomondan kelayotgan zarracha traektoriyasining egrilik radiusi Yer radiusigateng bo'lganda minimal impulska ega bo'ladi.

Sinov savollari:

1. Kosmik zarralarning magnit maydonida harakat tenglamasi, Lorens kuchi?
2. Zarralarning qattiqligi nima va u nimani ifodalaydi?
3. Magnit maydon qattiqligi nima va u nimani ifodalaydi?
4. Yer magnit maydonini tuzilishini tushuntiring?
5. Yer magnit maydoni induksiya vektori masofaga bog'liq ravishda qanday o'zgaradi?
6. Liuvil teoremasi nimani ifodalaydi?
7. Kosmik nurlar intensivligining uzunlik va kenglik effektlari nima?
8. Kosmik zarralarning impuls bo'yicha va energiya bo'yicha spektrlarini tushuntiring?

Adabiyotlar:

1. B.M.Maxmudov, T.A.Alimov i dr. V jurnale geomagnetizm i aeronomiya, Rossiya, 1999, tom 39, №6.
2. V.S.Murzin. «Vvedeniye v fiziku kosmicheskix luchey» Izd-vo MGU, 1988.
3. Dorman L.I. Variasii galakticheskix kosmicheskix luchey. M.: Izd-vo MGU, 1975.
4. Dorman L.I., Pimenov I.A., Sasuk V.V. Matematicheskoye obespecheniye issledovaniy geofizicheskix zakonomer-nostey na primere kosmicheskix luchey. M.: Nauka, 1978.
5. B.D.Abduraxmonov, T.A.Alimov, B.M.Maxmudov, N.S.Sirojev. Magnitnaya polya solnsa i gelioseysmologiya, Sankt-Peterburgt, 1994, s.17.

III bob. Quyosh va uning asosiy xususiyatlari.

§3.1. Quyosh eng yaqin yulduzdir.

Reja: I. Quyosh energiyasining manbai va uning ichki tuzilishi.

II. Quyosh va neytrino.

Darsning maqsadi: Talabalarga quyosh, uning tuzilishi, energiyasining manbai to'g'risida ma'lumotlar berish.

Tayanch iboralar: Quyosh, Quyosh atmosferasi, Quyosh temperaturasi, bosim, zichlik. Quyosh neytrinolari, Devis tajribasi, termoyadro reaksiyasi, protonlar, geliy yadrosi.

Dars o'tish vositalari: sinf doskasi, plakatlar, darsliklar, o'quv uslubiy qo'llanmalar, fizik lug'atdan foydalanish, tarixiy ma'lumotlar.

Dars o'tish usullari: takrorlash, suhbat va savol-javob hamda munozara tarzida jonli muloqot o'tkaziladi, iboralarga izohlar beriladi.

I. Quyosh energiyasining manbai va uning ichki tuzilishi.

Quyosh, Quyosh sistemasining markaziy va eng katta jismidir. Quyosh massasi barcha sayyoralarining massasidan 750 marotiba, Yer massasidan esa 333000 marotiba kattadir. U kuchli energiya manbai hisoblanib, rentgen va ultrabinafsha to'lqinlardan tortib radioto'lqinlargacha nurlaydi. Bu nurlanish Quyosh sistemasidagi barcha jismlarga ta'sir etadi, issiqlik nuri uzatadi va shuning uchun u hayot manbaidir. Quyosh bizga eng yaqin kosmik jism hisoblanadi, bu jihatdan uni o'rganish, yulduzlarni o'rganishda, kosmik nurlar fizikasida va butun koinotni o'rganishda katta rol o'ynaydi.

Quyoshning ko'rinma burchak diametri Yerning orbitasi elliptik bo'lganligi sababli yil davomida o'zgarib turadi. O'rtacha hisobda Quyosh ko'rinma burchak radiusi $960''$ - ga tengdir. Bundan Quyosh diametri $1/107$ astronomik birlikka (a.b.) yoki taqriban 1400000 km ga tengligi kelib chiqib, Yer diametridan 109 marotiba kattadir.

Yer atmosferasidan tashqarida Quyosh nurlariga perpendikulyar bo'lgan 1m^2 yuzaga 1360 vt Quyosh energiyasi tushadi, bu $2\text{ kal/sm}^2\cdot\text{min}$ ga mos keladi. Bu sonni radiusi Yer va Quyosh orasidagi masofaga teng bo'lgan shar sirtiga ko'paytirib, Quyosh nurlanishini quvvatini topish mumkin, u $\sim 4 \cdot 10^{23}\text{ kVt}$ ni tashkil etadi. O'lchami, Quyosh o'lchamiga teng va 6000°K gacha qizdirilgan jism anna shuncha energiya nurlaydi. Yerning Quyoshdan oladigan energiyasining oqimi, Quyosh to'la energiyasining $1/20000000000$ kismiga tengdir.

Koinotning boshqa jismlari singari, Quyosh, qizigan gazdan iborat bo'lgan shar shaklidagi jismdir. Quyosh asosan vodoroddan tashkil topgan bo'lib, unda ozroq geliy aralashgandir (atomlar miqdoriga ko'ra $\sim 10\%$). Qolgan elementlar atomlarining yig'indisi bundan ~ 1000 marotiba kamdir. Lekin massa jihatdan bunday og'ir elementlar Quyosh massasini 1-2 foizini tashkil etadi.

Quyosh muhiti kuchli ionlashgandir, ya'ni uning muhitini atomlari tashqi qobig'idagi elektronlarini to'la yo'qotgandir. Erkin elektronlar ionlashgan plazma gazining erkin zarralarini tashkil etadi.

Quyosh muhiti o'rtacha zichligini topish uchun uning massasini hajmiga bo'lamiz:

$$\bar{\rho} = \frac{3M_o}{4\pi \cdot R_o^3} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^{33}}{4 \cdot 3,14 \cdot 696 \cdot 10^8 \text{ cm}} = 1,412 / \text{cm}^3 \quad (3.1)$$

Zichlikning bu qiymati suv zichligiga yaqin bo'lib, Yer sirtidagi havo zichligidan ~1000 marotiba kattadir. Lekin Quyosh muhitining, uning markazidagi zichligi bundan yuzlab marotiba katta bo'lsa, yuzidagi zichligi minglab marotiba kichikdir.

Quyoshning markaziga qarab yo'nalgan gravitasion kuch ta'siri ostida, markazida juda yuqori bosim hosil bo'ladi. Quyosh ichida muhit bir tekis, o'rtacha zichlik bilan taqsimlangan deb, uning radiusini yarmiga teng chuqurligidagi bosim qiymatini topamiz.

Bunday chuqurlikda og'irlik kuchi radiusi $1/8 R_o$ bo'lgan shar ichidagi massa orqali aniqlanadi. Bunday shar hajmi Quyosh to'la hajmini $1/8$ kismga teng bo'ladi. Shuning uchun butun olam tortishish qonuniga ko'ra, bir jinsli Quyosh markazidan $1/2 R_o$ masofada erkin tushish tezlanishi quyidagicha:

$$g = \gamma \frac{\frac{1}{8} M_o}{\left(\frac{1}{2} R_o\right)^2} \quad (3.2)$$

bo'lib, og'irlik kuchi yuqori qatlamlar og'irliklarini yig'indisidan iboratdir. Bosim esa miqdoran balandligi $1/2 R_o$ bo'lgan asosining yuzi 1 sm^2 bo'lgan ustun ichidagi muhit og'irligiga teng bo'ladi. Bu ustun ichidagi modda massasi

$$m = \bar{\rho} \cdot \frac{R_o}{2} \quad (3.3)$$

bo'lib, bosim quyidagicha bo'ladi:

$$P = \frac{mg}{S} = \gamma \frac{\frac{1}{8} M_o}{\left(\frac{1}{2} R_o\right)^2} \bar{\rho} \frac{R_o}{2} \frac{1}{S} \quad (3.4)$$

$S=1$ bo'lganligi sababli $P = 6,6 \cdot 10^{13} \text{ H} / \text{M}^2 \approx 6,8 \cdot 10^8 \text{ amM}$. bo'ladi. Shunday qilib, Quyosh markazida bosim nihoyat darajada kattadir: tajriban bir milliard atmosferaga tengdir. Gaz qonunlariga ko'ra bosim zichlik va haroratga bog'liqdir Undan foydalanib, Quyosh katlamidagi temperaturani aniqlaymiz:

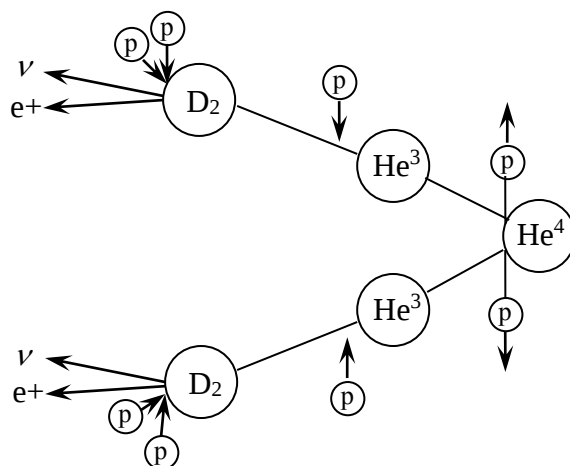
$$T = \frac{\mu P}{R \bar{\rho}} = \frac{\mu \gamma \cdot M_o}{4 R R_o} = 2,8 \cdot 10^6 \text{ K} \quad (3.5)$$

Shunday qilib, biz Quyosh xarakteristikalarini uning ichidagi $R_0/2$ balandligida aniqladik:

$$\begin{aligned}\bar{\rho} &= 1,4 \Gamma / \text{cm}^3 (1,3 \Gamma / \text{cm}^3) \\ P &= 6,6 \cdot 10^{13} \text{H} / \text{m}^2 (6,1 \cdot 10^{13} \text{H} / \text{m}^2) \\ T &= 2,8 \cdot 10^6 (3,4 \cdot 10^6) \text{K}\end{aligned} \quad (3.6)$$

Qavslarni ichida bu xarakteristikalarining aniqroq metodlar bilan aniqlangan qiymatlari keltirilgan.

Bunday katta bosim va temperaturalarda vodorod yadrolarining (protonlar) tezligi juda katta bo'lib, natijada ular Kulon itarish kuchlarini yengib, o'zaro yaqinlashib ta'sirlasha oladilar. Bunday yaqinlashishlardan ba'zida yadro reaksiyalari vujudga kelib (rasm.5v), geliy hosil bo'ladi va katta energiya ajraladi.



Rasm 5v. RR yadro reaksiyasining sxemasi.

$6H^1 \rightarrow 2D^2 + 2H^1 \rightarrow 2He^3 \rightarrow He^4 \rightarrow 2H^1$
(H^1 -proton, D^2 -deyteriy yadrosi, He^3 va He^4 -geliy izotoplari, e^+ -pozitron, ν -neytrino)

RR – reaksiyasi bir-biriga yaqinlashgan protonlarning birining β –bo'linishidan boshlanadi.

$$H^1 + H^1 \rightarrow D^2 + e^+ + \nu + 1,44 \text{MeV} \quad (3.6)$$

β –bo'linish natijasida proton neytronga aylanib, pozitron, neytrino va energiya ajraladi. Hosil bo'lgan neytron ikkinchi proton bilan qo'shilib deytriy yadrosini hosil qiladi. Har bir juft protonlar uchun bunday reaksiya 14 milliard yilda amalga oshadi. Hosil bo'lgan deytriy yadrosi boshqa proton bilan qo'shilishib He^3 -geliy izotopini hosil qiladi. Xosil bo'lgan ikkita geliy izotopi o'z navbatida o'zaro qo'shilishib protonlarni ajratib He^4 ga aylanadi. Natijada Quyoshning markaziy soxasida vaqt o'tishi bilan geliy miqdori oshib borsa, vodorod miqdori kamayib boradi. 4-5 milliard yil davomida vodorodning takriban yarmi geliyga aylanadi. Bunday reaksiyalar Quyoshning hozirgi evolyusiyasida katta energiya manbaidir.

Quyoshning markaziy soxasida hosil bo'lgan energiya uning tashqi qismlariga keyinchalik butun koinotga uzatiladi, natijada Quyosh muhiti gazning

temperaturasi uning sirtiga yaqinlashgan sari avval tez keyin sekinroq kamayib boradi.

Temperaturasiga va Quyosh tarkibida o'tuvchi jarayonlarga bog'liq ravishda Quyoshni 4 ta ichki mintaqalarga ajratish mumkindir (rasm 6):



Rasm.6. Quyoshning ichki tuzilishi

- 1) Quyoshning markaziy mintaqasi. Bu sohada temperatura va bosim termoyadro reaksiyalari vujudga kelishi kerak bo'lgan qiymatlargacha yuqori bo'ladi. Bu soha markazdan boshlab $\frac{1}{3}R_{\odot}$ gacha davom etadi.
- 2) Nurli mintqa ($\frac{1}{3}R_{\odot}$ -dan $\frac{2}{3}R_{\odot}$ gacha). Bu mintaqada energiya, muhit tomonidan kelayotgan elektromagnit energiya kvantlarini ketma-ket yutish va chiqarish natijasida amalga oshadi.
- 3) Konveksiya mintaqasi shu nurli mintaqadan boshlab Quyoshning ko'rinuvchi sathigacha cho'zilgandir. Bu sohada Quyosh sathiga yaqinlashgan sari temperatura keskin kamayib boradi, shuning uchun muhitning aralashuvi natijasida «konveksiya» yuz beradi. Bu pastidan isitilayotgan suvning qaynashiga o'xshaydi.
- 4) Quyosh atmosferasi konveksiya sohasidan boshlanib, Quyosh nurining ko'rinuvchi sohasigacha davom etadi.

Atmosferaning pastki katlamida siyrak gazdan iborat bo'lib, Quyosh nurlarining ko'rinuvchi sohasiga to'g'ri keladi. Quyosh atmosferasining yuqori qatlamlarini Quyosh tutilganda yoki maxsus asboblarda yordamida kuzatish mumkin.

Quyosh atmosferasi ham shartli ravishda bir nechta sohalarga ajratiladi: fotosfera, xromosfera va Quyosh toji sohalariga. Fotosfera 200-300 km qalinlikdagi atmosferaning chuqur qismi hisoblanadi. Spektrning ko'rinuvchi qismiga to'g'ri keluvchi va quvvat jihatdan boshqa barcha Quyosh sohalaridan chiquvchi energiyadan katta bo'lgan energiya Quyoshning fotosferasiga to'g'ri

keladi. Fotosferaning yuqori qatlamlarida temperatura 4000°K bo'lsa, pastki qatlamlarida 6000°K ga yaqinlashadi.

Bu atmosferaning temperaturasi balandlikga bog'liq ravishda oshuvchi qismiga xromosfera deyiladi. Xromosferada vodorod, geliy ionlashgan bo'ladi. Xromosferada temperatura o'nlab, yuzlab ming gradusga yetadi. Quyoshning to'la tutilishi paytida xromosfera Quyosh diski atrofida rangli hoshiya shaklida ko'rinadi. Xromosferaning yuqori qismida temperatura $1000000-2000000^{\circ}\text{K}$ ga yetadi va bundan yuqoriroq qismidagi Quyosh radiusidan bir necha marotiba katta bo'lgan balandlikda joylashgan qismiga temperatura o'zgarmas qoladi. Atmosferaning bunday issiq va siyraklashgan qismiga Quyosh toji deyiladi. Quyosh tojini ham Quyosh to'la tutilishi davrida kuzatish mumkin. U rangli, juda chiroyli ko'rinadi. Tojdan yuqori qismida Quyosh toji muhiti sayyoralararo fazoga chiqib, oqib turadi. Bu siyraklashgan muhit oqimiga Quyosh shamoli deyiladi.

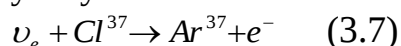
II. Quyosh va neytrino.

Yuqorida qayd qilindiki, Quyoshdan chiqayotgan energiya oqimi vodorodning geliyga aylanishi termoyadro reaksiyasi tomonidan kompensasiyalanadi. Bunday reaksiyaning o'tishi uchun temperatura 10^7K bo'lishi kerak.

Quyosh energiya nurlanishini quvvati kuzatilayotgan quvvatiga teng bo'lishi uchun temperatura bundan ham katta bo'lishi kerak. Yaqin vaqtgacha Quyosh markazining temperaturasi $T \sim 20 \cdot 10^6\text{K}$ ga teng deb hisoblanardi. Bunday nazariy natijaning to'g'riligiga shubha paydo bo'ldi. Quyosh neytrinolarini qayd qilinishi u yerdagi temperaturani topish imkonini beradi. Quyosh neytrinolarini oqimini qayd qilib, u yerdagi temperaturani o'lchash imkoni paydo bo'ldi.

Yuqorida biz ko'rdikki, vodorodni geliyga aylanishining har bir siklida ikkita elektronli neytrino paydo bo'ladi. Neytrinolarning intensivligi Quyosh temperaturasi T_q - ga kuchli bog'liq bo'ladi. Masalan, 10-15 MeV energiyali neytrinolar dastasi T_q - ga proporsional bo'lib, temperaturani termometri hisoblanadi. Quyosh neytrinolarini qayd qilish birinchi marotaba amerikalik fizik Devis tomonidan o'tkazilgandir. Buning uchun Devis chuqurligi 4200 m suv ekvivalentiga teng bo'lgan oltin shaxtasida o'rnatilgan qurilmadan va Pontekarvo usulidan foydalangan.

Devis qurilmasi 600 t tetroxloretilen S_2Cl_4 bilan to'ldirilgan bakdan iborat bo'lgan, tetroxloretilenning ichida ma'lum miqdorda Ar^{37} aralashmasi mavjuddir. Neytrinolarning qayd qilinishini Pontekarvo ilgari surgan metodi asosida, xlor va neytrinolarni quyidagi reaksiyasi yotadi:



Bunday reaksiya $E_\nu > 6\text{MeV}$ bo'lganda amalga oshadi, reaksiya natijasida hosil bo'lgan Ar^{37} radioaktiv bo'lib, uning yarim yemirilish davri 35 kunga tengdir. Ar^{37} yemirilib, Cl^{37} ga aylanib, γ nurlarni nurlaydi.



Shuning uchun tajribada γ kvantlarni qayd qilinishi neytrinolarni qayd qilinishini bildiradi. Devis tajribasida ishlatilgan bak maxsus trubkalarga ega edi. Bu trubkalardan geliyni suyuqlik ichidan o'tkazish mumkin edi. Suyuqlikdan o'tuvchi geliy argonni orqasidan olib o'tib, maxsus tutkichga yetkazib berar edi. Tushunarliki bu argonni bir qismi neytrinoli reaksiya natijasida hosil bo'lgan argondir. Geliy boshqatdan nishonga qaytarilib, argon tashqi nurlanishdan himoya qilingan schetchikga uzatilib, undan γ kvantlarning intensivligi o'lchanadi. Bunday tajriba bir necha yillar davom etib boskichlardan iboratdir. Xar bir boskich taxminan 3 oy davom etib, har bir boskichdan keyin argonni ajratish va γ kvantlarni o'lchash jarayoni amalga oshiriladi. Quyosh neytrinolarining intensivligi juda kichikdir, chunki bunday intensivlik yerdan Quyoshgacha bo'lgan masofa R_1 to'g'rirog'i $(4\pi R_1^2)^{-1}$ ga proporsionaldir. Hisoblashlarga ko'ra har kuni bita neytrino qayd qilinishi kerak edi. Tajriba har kuni $0,34 \pm 0,06$ neytrino qayd qilinganligini ko'rsatdiki, bu nazariy natijadan taxminan 3 marotaba kichikdir.

Devis tajribalarida olingan natijalarni, Quyosh neytrinolari paradoksi deb ataydilar. Bu paradoksning muhimligi shundan iboratki, bizning, Quyosh qatlamida o'tuvchi jarayonlar to'g'risidagi tasavvurlarimizni shubha ostiga qo'yadi. Devis tajribalarining natijalari ko'rsatadiki, Quyosh markazidagi temperatura biz yuqorida qayd qilgan temperaturadan kichikdir ($15 \cdot 10^6 K$ dan katta emas). Devis paradoksi bir necha gipotezalar yordamida tushuntiriladi.

Bunday gipotezalarning birida faraz qilinadiki, Yer va Quyosh orasidagi muhitning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti juda kichik. Shuning uchun biz qayd etgan Quyosh markazining temperaturasi uning hozirgi paytdagi temperaturasi bo'lmay balki oldingi paytlardagi temperaturasidir. Hozirgi paytlarda quyosh markazida temperatura nisbatan kichikdir.

Boshqa gipotezaga ko'ra Yer va Quyosh orasidagi muhit bir jinsli emas, Shuning uchun nazariy hisoblangan neytrinolar intensivligi noto'g'ridir. Quyosh markazida He^3 miqdori juda katta yoki energiya tabiati termoyadroviy emasligi faraz qilinadi. Boshqa gipotezaga ko'ra Devis tajribasining paradoksi elektronli neytrinolarning boshqa neytrinolarga ossillyasiyasi bilan, masalan myuonli neytrinolarga aylanishi bilan tushuntiriladi.

Sinov savollari:

1. Quyoshning xususiyatlarini ifodalovchi asosiy xarakteristikalarini aytib bering?
2. Quyoshning ximiyaviy tuzilishi qanday?
3. Quyosh qanday fizik xarakteristikalariga ega?
4. Quyosh nurlarining quvvati qanday?
5. Quyosh energiya ajratishini asosiy manbaini tushuntiring?
6. r-r siklli termoyadro reaksiyasini tushuntiring?
7. Quyoshning ichki tuzilishini tushuntiring?
8. Qachon termoyadro reaksiyasi vujudga kelishi mumkin?

9. Quyosh atmosferasining tuzilishi qanday?
10. Nima uchun Quyosh neytrinolarning intensivligini qiymati Quyosh temperaturasini o'lchash termometri hisoblanadi?
11. Devis tajribasini tushuntiring?
12. Neytrinolar dastasini o'lchash uchun B.M. Pontenorvo metodini tushuntiring?
13. Devis tajribasini paradoksining ma'nosi nimadan iborat?
14. Devis tajribasi natijalarini tushuntirishdagi gipotezalarni tushuntiring?

Adabiyotlar:

1. Alimov T.A., Maxmudov B.M., «Astronomiya asoslari». Samarkand, 2003.
2. T.A. Alimov, B.M. Maxmudov. «Cherenkovskiy metod izucheniya kosmicheskix luchey sverkhvysokix energiy». Izd-vo SamGU, 2004.
3. P.I. Bakulin i drugiye «Kurs obshey astronomii» Moskva, Nauka, Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literaturi, 1983g.
4. V.S. Murzin. «Vvedeniye v fiziku kosmicheskix luchey» Izd-vo MGU, 1988.
5. Dorman L.I. Variatsii galakticheskix kosmicheskix luchey. M.: Izd-vo MGU, 1975.

§3.2. Quyosh aktivligi va Quyosh shamoli.

- Reja:** I. Quyosh aktivligining sikli.
 II. Quyosh shamoli.
 III. Quyosh chaqnashlari.

Darsning maqsadi: Talabalarga quyosh aktivligi, quyosh shamoli, quyosh chaqnashi va zarbali to'lqinlar borasida ma'lumotlar beriladi.

Tayanch iboralar: Quyosh dog'lari, Volf soni, Quyosh shamoli, magnit maydoni, aktivlik sikli, zarralar tezligi, zarralar zichligi.

Dars o'tish vositalari: sinf doskasi, plakatlar, darsliklar, o'quv uslubiy qo'llanmalar, fizik lug'atdan foydalanish, tarixiy ma'lumotlar.

Dars o'tish usullari: takrorlash, suhbat va savol-javob hamda munozara asosida jonli muloqot o'tkaziladi.

I. Quyosh aktivligining sikli.

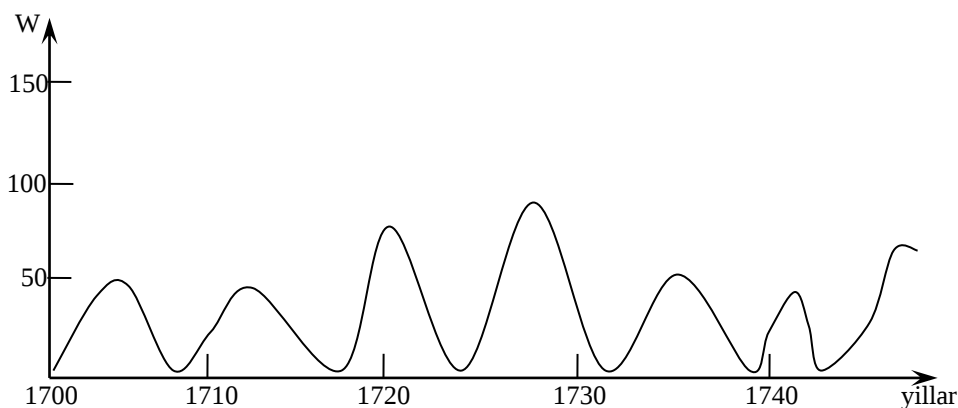
Quyosh atmosferasining kuzatishga doir tajribalari natijalarining ko'rsatishicha, Quyosh yuzida o'lchami va soni tezlik bilan o'zgaruvchi sohalar mavjuddir. Bunday sohalarga Quyosh dog'lari deyiladi.

Quyosh aktivligini ifodalovchi bunday dog'larning miqdori davriy ravishda o'zgarib turadi. Bunday dog'larning soni eng katta bo'lganda Quyosh aktivligi maksimal, kam yoki bo'lmaganda minimal bo'ladi. Quyosh aktivligining birligi sifatida Volfning W conidan foydalanadilar. Volf soni quyidagicha aniqlanadi:

$$W = K(f + 10g) \quad (3.1)$$

Bu formulada f – dog’lar soni, g – ular gruppalarining soni, K – proporsionallik koeffitsiyenti.

Odatda ko’p yillar davomida o’rtachalashtirilgan Volf sonidan foydalanadilar. Rasm 7 – da bunday aniqlangan Volf sonining vaqtga bog’liq ravishda o’zgarish grafigi ko’rsatilgan.



Rasm.7. Volf sonining vaqtga bog’liq ravishda o’zgarish grafigi.

Bu grafikdan ko’rinib turibdiki, Volf sonining o’zgarish chizig’i maksimum va minimumlarga ega bo’lib, maksimum va minimumlari bir-biridan o’rtacha hisobda 11 yillik davr bilan ajratilgandir, ya’ni Quyosh aktivligi davri o’rtacha hisobda 11 yilga tengdir.

Volf soni minimal bo’lgan davrlarda Quyosh dog’lari juda kam bo’ladi yoki umuman yuqoladi. Bir necha vaqtdan keyin bu dog’lar paydo bo’ladi. Avvaliga dog’lar $\pm 35^\circ$ kenglikli joylarda paydo bo’lib, keyin ular Quyosh ekvatori sohalariga yaqinlashadi. Quyosh dog’lari 8° - dan kichik bo’lgan sohalarda esa deyarli kuzatilmaydi.

Quyosh aktivligining asosiy xususiyati, bu dog’lardagi magnit maydonlari qutblarining o’zgarib turishidir. Har bir 11 yillik sikl davomida asosiy dog’lar gruppalarining qutblari Quyosh sharining shimoliy va janubiy qismida joylashgan bo’ladi. Boshqa 11 yillik davrda bu qutbiylik o’zgaradi. Bunga bog’liq ravishda Quyoshning magnit maydonini qutblari o’zgaradi. Quyosh magnit maydoni qutblari, uning aylanish o’qi qutblari yaqinida joylashgan bo’ladi.

Quyosh aktivligining davriy ravishda o’zgarishi bilan birgalikda uning boshqa xarakteristikalar masalan flakulalar sathining kattaligi, protuberanslar soni, chaqnashlari soni va quvvati, Quyosh shamolining quvvati ham davriy ravishda o’zgarib turadi. Bunday xarakteristikalarining ham o’zgarish davri 11 yilga tengdir. Quyosh aktivligining siklik ravishda bunday o’zgarishi Quyosh uchun yechilishi lozim bo’lgan muhim muammolardan hisoblanadi. Ehtimol bu muammo Quyosh atmosferasining pastida magnit maydon ta’sirida hosil bo’luvchi tebranishlarga bog’liq bo’lgan bo’lsa ajab emas. Bu muammoni tushuntirishdagi gipotezalardan

biriga ko'ra Quyosh fotosferasining pastidagi kuchsiz magnit maydoni, konveksion harakat natijasida maydon kuch chiziqlarini aralashishi natijasida kuchayadi. Boshqa gipotezaga ko'ra Quyoshning turli sohalarini turlicha burchak tezlik bilan, uning o'qi atrofida aylanishi natijasida magnit maydon kuch chiziqlari o'zro aralashib Quyosh ekvatori tekisligiga paralel ravishda cho'zilib kuchayadi, Quyosh atrofida aylanadi va kuch chiziqlari trubkalarini hosil qiladi. Kuchli magnit maydoni ostidagi sohalar, magnit bosimi ostida kengayib, yengillashib Quyosh sathiga chiqib, Quyosh aktivligiga bog'liq bo'lgan turli xil xossalarni hosil qiladi.

II. Quyosh shamoli.

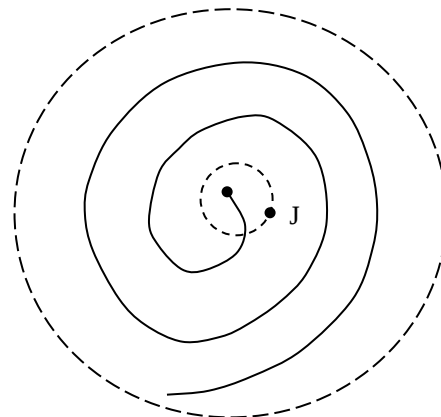
Biz Quyosh atmosferasi ichida yashayapmiz va bunda Quyosh shamoli esib turibdi. Quyosh shamolining tezligi juda katta $\sim 10^3$ km/s tartibida, undagi zarralar zichligi esa juda kichik $\langle n_p \rangle = (5 \div 10) \text{ cm}^{-3}$ tartibidadir.

Quyosh shamoli mavjudligi to'g'risidagi gipoteza 1919 yili kometalarni harakatini o'rganishda bayon etilgan bo'lsa, uning nazariyasi 1958 yili amarikalik astrofizik Parker tomonidan ilgari surilgandir. Parker Quyoshdan turli tomonga tarqalayotgan plazmani Quyosh shamoli deb atadi. Yerning sun'iy yo'ldoshlari yordamida olingan natijalarning ko'rsatilishicha, Quyosh shamoli protonlar, turli yadrolar va elektronlar dastasidan iboratdir.

Quyosh shamolining esish tezligi va undagi zarralar tezligi o'zgaras emasdir. Ba'zi vaqtlarda Quyosh shamoli tezligi kichik undagi zarralar tezligi kichik bo'lsa, ba'zi hollarda Quyosh shamolining bu xarakteristikalar keskin oshib ketadi. O'rtacha hisobda tezlik $\langle u \rangle = 320$ km/s, zichlik 8 sm^{-3} bo'lib, bundan chetlashishlar juda kattadir. Zarralar zichligi $n_p \sim 50 \text{ cm}^{-3}$ gacha, tezlik 1000 km/s gacha oshib ketishi mumkin. Yer sathida

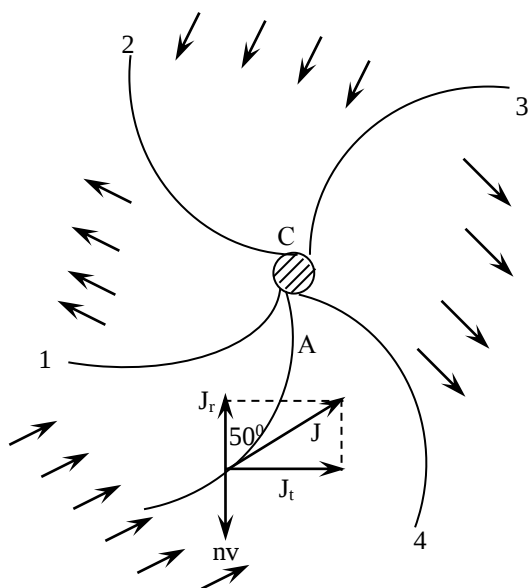
Quyosh shamolidagi protonlarning intensivligi $\langle I \rangle \approx 2,5 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3} \text{ c}^{-1}$ ga tengdir. Quyoshdan uzoqlashgan sari zarralar dastasi masofa kvadratiga teskari proporsional ravishda kamayib borsa, tezligi bu masofaga bog'liq emasdir. Quyosh shamoli dastasining umumiy energiyasi o'rtacha hisobda 10^{28} erg/s ga tengdir. Quyosh shamoli tarkibida, Quyosh sathida uchraydigan barcha elementlar mavjuddir. $n_\alpha \sim 0,05 n_p$, $n_{z>2} \leq 5 \cdot 10^{-4}$.

Quyosh shamoli Quyosh magnit maydoni kuch chiziqlarini shunday olib boradiki, bu chiziqlar radial yo'nalishda cho'ziladi. Bunday magnit maydoniga Quyosh shamolida muzlangan magnit maydoni deyiladi. Quyoshning o'z o'qi



Rasm.8. Geliosferada Quyosh magnit maydonini Arximed spirali

atrofida aylanishi tufayli, Quyosh shamoli yordamida cho'zilgan magnit maydon kuch chiziqlari aylanib, Arximed spiralini hosil qiladi (rasm. 8.) ($r = \langle u \rangle \varphi / \omega$, ω – Quyoshning aylanishi burchak tezligi bo'lib, r va φ – geliosentrik koordinatalar).



Rasm 9. Quyosh magnit maydonining ekliptika tekisligidagi sektorli struktura.

Bir astronomik birlik masofada magnit maydon kuch chiziqlari g'arbdan 45° burchak ostida yo'nalgan bo'lib, kuchlanganlik $10^{-4} \div 10^{-5} \text{ G}$ ga teng bo'ladi. Magnit maydon energiyasining zichligi, plazma harakati zichligidan kichikdir, shuning uchun uning harakatiga ta'sir ko'rsatmaydi. Maydon kuch chiziqlarining yopiq sathdan to'la oqimi nolga teng bo'lganligi sababli, sayyoralar orasidagi fazoning turli soxalarida, magnit maydonining yo'nalishi turlicha bo'lishi kerak. Haqiqatdan ham Yerning sun'iy yo'ldoshlari

yordamida olingan eksperimental natijalarning ko'rsatishicha magnit maydon kuch chiziqlarining yo'nalishi osmonning yuqori yarim sharida pastdagisiga nisbatan qarama-qarshidir. Har 22 yil davr bilan magnit maydon yunalishi o'zgarib turadi. 1979 yili (Quyoshning 21-chi siklida) yuqori yarim sharda magnit maydon Quyoshdan yo'nalgan edi. Qalin bo'lmagan qatlamda (10^4 - 10^6 km) magnit maydon yo'nalishi sekin o'zgaradi. Juda kam hollarda magnit maydon nolga teng bo'ladi. Ajratish tekisligi Quyosh ekvator tekisligiga nisbatan 15° burchakga og'ma bulib, bu tekislik to'lqin shakliga egadir. Shuning uchun ekvator tekisligi ajratish tekisligini bir necha marotiba kesib o'tadi. Natijada yo'nalishi qarama-qarshi bo'lgan magnit maydon sektorlari hosil bo'ladi. Bunday sektorlarning o'rni va soni bir necha oylar davomida o'zgarmas qoladi. Masalan, 1963-1964 yillarda magnit maydonining 4 ta sektori bor edi (rasm 9.).

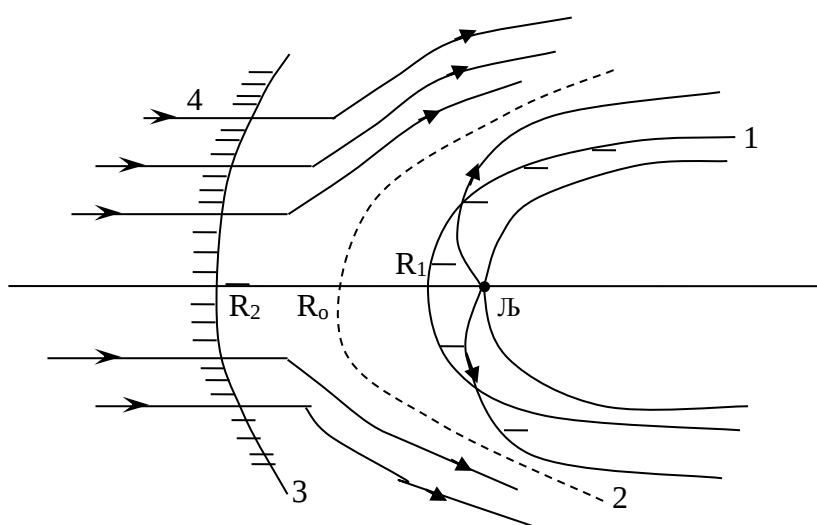
Quyosh plazmasi koinotda yulduzlararo muhit bilan (kosmik nurlar, magnit maydonlar, ionlashgan gazlar va hokazolar) to'qnashishi natijasida cheksizlikgacha kengayib keta olmaydi.

Quyoshdan uzoqlashgan sari plazmaning konsentrasiyasi kamayib boradi, shuning uchun tovushning plazmadagi tezligi kamayib borib, plazmaning o'zini tezligi esa tovush tezligidan katta bo'ladi. Quyosh plazmasining muhit bilan to'qnashishi natijasida u tormozlanadi va zarbali to'lqinlar hosil bo'ladi (rasm.10). Zarbali to'lqinlar mavqeini plazma bosimi va kosmik muhit bosimi orasidagi muvozanatdan foydalanib topish mumkin.

$$n_p m_p u^2 \approx n_p^0 \left(\frac{r_1}{R} \right)^2 m_p u^2 = n_r K T + B_r^2 / 8\pi + P_{K,H},$$

Bu formulaga kirgan kattaliklarni qiymatini qo'yish yo'li bilan r - ning qiymati topiladi. Masalan: $n_G \sim 0,2 \text{ sm}^{-3}$, $T \sim 10^4 \text{ K}$, $R_{K,N.} \sim 10^{-12} \text{ erg/sm}^3$, $V \sim 2 \cdot 10^{-4} \text{ Gs}$ -larni qo'yib, $R \sim 50-100 \text{ a.b}$ ekanligini topamiz.

Yulduzlararo fazoda qo'yosh shamolidan tashqari, galaktik shamol esib turadi. Galaktik shamol tezligi ham tovush tezligidan kattadir $\mathcal{G} \approx 20 \text{ km/c}$. Shuning uchun fazoda ikkita zarbali to'lqin hosil bo'ladi. Ichki zarbali to'lqinda Quyosh shamoli tormozlansa, tashqarisida galaktik shamol tormozlanadi (bunday to'lqinlar xolatini mos ravishda R_1 va R_2 bilan ajratamiz). R_1 bilan ajratilgan fazo qismiga geliosfera deyiladi.



Rasm.10. Geliosfera tuzilishi

- 1 - Quyosh shamoli zarbali to'lqini
- 2 - Galaktika va Quyosh plazmalari chegarasi
- 3 - Galaktik oqim zarbali to'lqini
- 4 - Galaktik magnit maydon kuch chiziqlari

Q - Quyosh; R_1 , R_2 , R_0 - Quyoshdan mos ravishda masofalar.

Geliosferaning bunday tuzilishi $r \sim 25 \text{ a.b.}$ masofalargacha, Yerning sun'iy yo'ldoshlari yordamida, Quyosh shamoli tezligini, zarralari zichligini va magnit maydon taqsimlanishini o'lchash yo'llari bilan isbotlangan.

III. Quyosh chaqnashlari.

Quyosh aktivligi maksimal bo'lgan yillarda, elektrik va magnit maydonlarining keskin o'zgarishi natijasida Quyosh diskining turli lokal soxalarining ravshanligi keskin oshib ketishi kuzatiladi. Bunga Quyosh chaqnashi deyiladi. Kichik chaqnashlar har kuni bir necha marotiba kuzatilsa, kuchlilari juda kam uchraydigan hodisadir. Chaqnashlar davrida ultrabinafsha, rentgen, radioto'lqinlar, chiziqli va uzluksiz γ - nurlanishlar bilan birgalikda, protonlar,

yadrolar va neytrinolar oqimi nurlanadi. Shunday qilib bunday chaqnashlar natijasida kosmik nurlar – Quyosh kosmik nurlari generasialanadi. Protonlarning umumiy soni kuchli chaqnashlarda 10^{28} ga yaqin bo'ladi, chaqnash energiyasi 10^{27} - 10^{31} erg intervalida bo'ladi. XX asrning oxirgi 20 yil davomida 30 dan ortiq kuchli chaqnashlar kuzatilgan bo'lib, ularda o'nlab gigaelektronvolt energiyali protonlar qayd etilgan. Aniqlanishga kuchli chaqnashlar Quyosh aktivligining maksimal bo'lgan yillarida, aktivlikning oshishi yoki pasayishi paytlarida hosil bo'ladi.

29 sentyabr 1989 yilda yana shunday kuchli portlashlarning biri kuzatildi, ki u Yer yuzidagi turli stansiyalarda qayd etilgan. Samarqand, Moskva, Mirmы (Antraktidada joylashgan) stansiyalarining ko'rsatishicha intensivlikning oshishi 5 soat davom etgan va bunda u Samarqandda 70% ga, Moskvada 200% ga va Antraktidada bundan ham ko'p oshgan. Bundan esa bu chaqnashda Yer sathiga kelib yetgan zarralar orasida energiyasi $Y_e \leq 1 \text{ GeV}$ bo'lgan zarralar mavjud bo'lgan. Yer ekvatorida joylashgan stansiyalarda ham intensivlikning biroz oshishi kuzatilgan. 26 yanvar 1967 yilda kuzatilgan Quyosh chaqnashi xuddi shunday xususiyatlarga ega bo'lgan bo'lib, bunda bir necha soat davomida intensivlik Antarktidada 40% ga, Moskvada 6% ga oshgan.

Ochiq koinotga, Yerning magnit maydoni ta'sir doirasidan tashqarida kichik energiyali zarralarning intensivligi yanada kattaroq oshadi. Yerning sun'iy yo'ldoshlari yordamida o'tkazilgan tajribalarning kursatishicha kuchli chaqnashlar paytida kosmik zarralarning to'la oqimi 10^6 marotibagacha oshishi mumkin. 29 sentyabr 1989 yildagi Quyosh chaqnashi XX asrning oxirgi 20 yili davomida kuzatilgan eng kuchli Quyosh chaqnashidir.

Energiyasi 100 MEV dan katta bo'lgan zarralar, Sayyoralararo kosmik ekspedisiyalarda kishilar hayoti uchun xavflidir. Bunday zarralar kishining tanasidan o'tishida elektron - fotonlar va rentgen nurlanishi oqimini hosil qilishi mumkin.

Yer orbitasidagi masofalarda ($1a. b. \approx 1,5 \cdot 10^6 \text{ km}$) Kosmik zarralar oqimi Quyosh chaqnashidan 8 – 12 soat keyin o'zining maksimal qiymatiga erishadi. Quyosh chaqnashlarini hali oldindan aytish mumkin emas. Lekin kuchli portlashlar bir necha yilda bir marotiba yuz beradi.

Aviasiyadan, xuddi shunday baland uchuvchi grajdan aviasiyasidan foydalanish, radiasion holatni aniqlash masalasini ilgari suradi. Biologik obyektlarining radiasion zararlanishi yutilgan energiya miqdori bu nurlanishning biologik effektivligi bilan aniqlanadi. Yutilgan energiya (doza) greylarda $\left(1 \Gamma p = 1 \frac{\text{JK}}{\text{K}^2}\right)$ o'lchanadi. Biologik effektivlik (doza ekvivalenta) Dekv. Nurlanishi sifati koeffisiyenti $(KK)_i$ - ga bog'liqdir.

$$D_{\text{эКВ}} = \sum D_i(KK);$$

(Zivertlarda o'lchanadi, $1 \text{ Ev} = 1 \text{ J/kg} = 10^2 \text{ ber}$). Nurlanishlar bilan ishlovchi kishilar uchun zararsiz doza $5 \cdot 10^{-2} \text{ Ev}$ bir yildadir. 18–20 km balandliklarda

odatdagi doza 10 – 20 mkEv/soat – ga tengdir. Kuzatishlarning ko'rsatishicha, 18 km balandlikda qutb soxalarida 1956 dan 1972 yillar mobaynida 100 mkZv/soat dozadan kattasi 10 marotiba kuzatilgandir.

Sinov savollari:

1. Volf soni qanday aniqlanadi va u nimani ifodalaydi?
2. Quyosh aktivligining asosiy xususiyati, Quyosh dog'lari magnit maydoni qutbiyligining o'zgarishini tushuntiring?
3. Quyosh shamoli nima?
4. O'rtacha hisobda Quyosh shamoli tezligi va undagi zarralar zichligi qancha?
5. Yer sathida Quyosh shamoli protonlarining dastasi qancha?
6. Arximed spirali nima va u nimani ifodalaydi?
7. Quyosh shamoli magnit maydonini sektorli tuzilishini tushuntiring?
8. Quyosh chaqnashi nima?
9. Geliosfera nima, uni tuzilishini tushuntiring?
10. Galaktik shamol nima?
11. Kuchli Quyosh chaqnashlarida protonlarning to'la soni qanchagacha oshadi va nurlangan to'la energiya miqdori qanday intervalda bo'ladi?
12. Nima uchun Yer sathining turli sohalarida Quyosh chaqnashi davrida zarralar to'la oqimi turlicha oshadi?

Adabiyotlar:

6. Alimov T.A., Maxmudov B.M., «Astronomiya asoslari». Samarkand, 2003.
7. T.A. Alimov, B.M. Maxmudov. «Cherenkovskiy metod izucheniya kosmicheskix luchey sverkhvysokix energiy». Izd-vo SamGU, 2004.
8. P.I. Bakulin i drugiye «Kurs obshchey astronomii» Moskva, Nauka, Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 1983g.
9. V.S. Murzin. «Vvedeniye v fiziku kosmicheskix luchey» Izd-vo MGU, 1988.
10. Dorman L.I. Variatsii galakticheskix kosmicheskix luchey. M.: Izd-vo MGU, 1975.

3.3. Quyosh kosmik nurlari va ularni qayd qilish usullari

Reja:

- I. Quyosh chaqnashlaridagi kosmik nurlar.
- II. Quyosh chaqnashlarida hosil bo'luvchi zarralarning xususiyatlari va ularning tezlashishi.
- III. Energiyasi katta bo'lgan kosmik nurlarni qayd qilish detektorlari.
- IV. Ssintillyasion va Cherenkov detektorlarining tuzilishi va ishlash prinsipi.
- V. Kosmik zarralarning va Cherenkov nurlanishining zichligini detektorlarda aniqlash.

Darsning maqsadi: Talabalarga kosmik nurlar to'g'risida tushuncha berish, koinotni yoshini va o'lchamini aniqlash Kuyosh chaqnashlari, Kuyosh kosmik nurlari manbai ekanligi va bunday nurlar xususiyatlari to'g'risida ma'lumotlar beriladi. Kosmik nurlarni qayd qiluvchi asboblari: ssintillyasion va Cherenkov detektorlari tuzilishi va ishlash prinsipi to'g'risida ma'lumotlar berish.

Tayanch iboralar: magnit maydoni, Quyosh chaqnashi, diffuzion tenglama, protonlar, elektronlar, γ - fotonlar, adronlar, neytronlar, ssintillyasion va Cherenkov detektorlari FEK, kosmik zarralar soni va zichligi, impuls soni, Cherenkov nurlanishi oqimining zichligi, neytronlar, intensivlik, barometrik effekt, BF_3 gazi bilan to'ldirilgan schyotchiklar, neytron monitorlar, neytronlarni susaytirgichi, neytronlarning generatori, eksperimental natijalarni qayta ishlash, o'rtacha kvadratik xato, schyotchiklarni sanash tezligi.

Dars o'tish vositalari: sinf doskasi, plakatlari, darsliklari, o'quv uslubiy qo'llanmalar, fizik lug'atdan foydalanish, tarixiy ma'lumotlar.

Dars o'tish usullari: takrorlash, suhbat va savol-javob hamda munozara asosida jonli muloqot o'tkaziladi, masalalar yechiladi.

I. Quyosh chaqnashlaridagi kosmik nurlar.

Kosmik nurlar intensivligining oshishi va Quyosh chaqnashlari orasidagi musbat korrelyasiya, bunday zarralarning manbai Quyosh ekanligini, ya'ni bunday zarralar Quyosh kosmik zarralari ekanligini ko'rsatadi. Quyosh chaqnashlari zarralari sayyoralararo magnit maydoni kuch chiziqlari bo'yicha harakat qiladi. Masalan: 4 may 1960 yildagi Quyosh chaqnashidan keyin zarralar oqimining oshishi avvaliga Yer - Quyosh yo'nalishiga nisbatan g'arb tomonda, 50° burchak ostida magnit maydon kuch chiziqlari buylab qayd etilgan. Kuzatishlarning ko'rsatishicha, Yer yuzining biror burchagini magnit maydon kuch chiziqlari bilan bog'lovchi Quyosh kengliklarida chaqnash yuz bersa, bunday burchakga zarralarning yetib kelishi (yetib kelish vaqtini hisobga olgan holda) Quyosh chaqnashi boshlanish vaqtiga aniq mos keladi.

Agar Quyosh chaqnashi Quyoshning magnit kuch chiziqlari bilan to'g'ridan tug'ri bog'lanmagan sharqiy kengliklarda yuz bersa, bu chaqnashdan zarralar kechikib bo'lsa ham Yerga yetib keladi. Bundan kosmik nurlar magnit maydon kuch chiziqlariga nisbatan perpendikulyar yo'nalishida ham birjinslimas magnit maydonlarda tarqaladi degan xulosa kelib chiqadi. Bunday sochilishning mavjudligi birinchi zarralar kelgandan keyin zarralar dastasining izotropigidan kelib chiqadi. Shuning uchun Quyosh chaqnashlari bunday birjinslimaslarni o'rganish imkonini beradi.

Juda yomon yaqinlikda kosmik zarralar $t = 0$ vaqt momentida qisqa impulsli generasialanadi deb hisoblash mumkin. Yulduzlararo fazoga tashlangan zarralar Yerga diffuziyalanadi ularni harakatini zarralar konsentratsiyasi n ga nisbatan diffuzion tenglama bilan ifodalash mumkindir:

$$\frac{dn}{dt} = D(E)\nabla^2 r + f(t)$$

bunda $D(E)$ – energiyaga bog'liq bo'lgan diffuziya koeffitsiyenti, $f(t)$ – t vaqt momentida Quyosh chaqnashi natijasida vaqt birligida chiqarilgan zarralar sonini ifodalovchi funksiya (manba quvvati, manba profili) $f(t) = N(E, t=0)$ deb hisoblaymiz, u holda koordinata boshini chaqnash markaziga o'rnatib quyidagini topish mumkin.

$$n(r, t, E) = \frac{N(E)}{[2\sqrt{\pi D(E)t}]^3} \exp[-r^2/4D(E)t] \quad (3.9)$$

Bu formuladan har bir vaqt momentida zarralarning taqsimlanishi Gauss taqsimlanishi bilan berilishi, vaqt o'tishi bilan dispersiya oshishi va chiqarilgan zarralar buluti vaqt o'tishi bilan koinotda sochilishi kelib chiqadi. r – koordinatani 1a. b. ga teng deb olib, (ya'ni zarralarni harakatini Yer sirti yaqinida ko'rib), intensivlik vaqtning o'tishi bilan quyidagicha o'zgarishini topamiz:

$$I \sim n\mathcal{G} \sim t^{-3/2} \quad (3.10)$$

Tajriba ko'pchilik chaqnashlarda kata energiyalarda ($E \geq 0,1\Gamma\Theta B$) bunday bog'lanishini tasdiqlaydi. Bu zarralar yulduzlararo fazoda diffuzion tarqalishini tasdiqlaydi.

Intensivlikni pasayish tezligini aniqlab $D(E)$ - ni baholash mumkindir. $E \geq 100M\Theta B$ bo'lganda birnecha chaqnashlar uchun $D(E) = (10^{21} + 10^{22})\text{cm}^2 * c^{-1}$ ekanligi aniqlangan. Berilgan energiya intervali uchun protonlarning tezligi $0,5C - C$ (S - yorug'lik tezligi) intervalda joylashganligi sababli, $l \sim (6 * 10^{11} - 10^{12})\text{cm}$ ekanligi kelib chiqadi. Energiyaning oshishi bilan $l, (\sim E^{1/2})$ - ga proporsional ravishda oshadi. Birjinslimaslarning o'lchamini $R_H \sim R_n = pc/300B$ munosabatdan foydalanib topish mumkin. Impulsi $300M\Theta B/c$ bo'lgan zarralar uchun $R_\phi \approx 10^{11}\text{cm} \approx 1 * 10^6\text{km}$ ekanligini, bu ℓ ning qiymatidan bir darajada kichik ekanligini topamiz.

Bunday sodda talqinlar bilan chaqnashlarda yuz beruvchi barcha hodisalarni tushuntrib bo'lmaydi. Masalalarni to'liqroq yechish uchun magnit maydonga parallel bo'lgan va perpendikulyar bo'lgan diffuziya koeffitsiyentlari kiritiladi ($D_{//} \sim 10D_{\perp}$) va manbaning profili tushunchasi kiritiladi. Faraz qilinadiki, Quyosh kosmik nurlari avval Quyosh atrofidagi kichik fazoda diffuziyalanadi va ularning burchak bo'yicha taqsimlanishi izotrop bo'ladi va keyinchalik ular kuch chiziqlari buylab Yerga tamon tarqaladi.

Ko'pchilik hollarda asosan kichik energiyali zarralarning uchun ularning intensivligi vaqtga bog'liq ravishda $t^{-3/2}$ qonun buyicha yemas, balki

$$n \sim \exp(-t/t_0)$$

qonun bo'yicha kamayadi.

Bunday bog'lanish zarralarning kuch chiziqlari bo'ylab, 1a. b. ga teng bo'lgan erkin chopish yo'li bilan tarqalishini ko'rsatadi.

Elektronlar uchun esa shunday hodisalar ko'rsatilganki, bunda ularning intensivligi tezlik bilan oshib keyinchalik eksponensial ravishda kamayadi. Bunday hodisalar zarralar kuch chiziqlari bo'ylab sochilmasdan tarqalishini ko'rsatadi.

II. Quyosh chaqnashlarida hosil bo'luvchi zarralarning xususiyatlari va ularning tezlanishi.

Katta energiyali zarralarning mavjudligi zarralarning Quyosh atmosferasidan o'tishida tezlanishidan darak beradi. Agar ular zichligi kichik bo'lgan Quyosh tojida tezlashtrilsa, ularning ximiyaviy tarkibi Quyosh atmosferasi tarkibi kabi bo'lishi kerak. Zichligi katta bo'lgan xromosferada yadrolar tezlik bilan energiyasini yo'qotib sekin tezlashtriladi. Shuning uchun ximiyaviy tarkibning kuchli variatsiyalarini kutish mumkin.

Quyosh kosmik nurlari tarkibida protonlar, α - zarralar o'rta va og'ir yadrolar borligi aniqlangan. Lekin protonlar soni chaqnashdan, chaqnashgacha o'nlab marotiba o'zgaradi. Tarkibi ${}^3\text{He}$ va og'irroq yadrolar bilan boy bo'lgan chaqnashlar ham qayd etilgan. Chaqnash vaqtida Quyosh kosmik nurlari intensivligi oshsa ham, ularning kosmik nurlarining to'la oqimi tarkibidagi hissasi kichikdir, chunki Quyosh chaqnashlari juda kam uchraydigan hodisadir. Hozirgacha chaqnashlarni qayd qilish tarixida bir necha o'nlab chaqnashlar qayd etilgan.

Eng kuchli chaqnashlarda energiyasi 10Mev dan katta bo'lgan protonlar uzi bilan 10^{31} erg energiyani olib ketsa, elektronlar esa $(E > 20k\epsilon B) - 10^2$ marotiba kichik energiyani olib ketadi. Kosmik nurlarga to'g'ri keluvchi energiya, chaqnash to'la energiyasining 0,1 qismini tashkil qiladi. Kichik energiyali zarralarni generatsiyalantiradigan kuchsiz chaqnashlar har kuni vujudga keladi va bunday chaqnashlar magnitosferadan tashqarida effektlar hosil qiladi.

Chaqnashda hosil bo'lgan protonlar Quyosh muhitida yadro reaksiyalarini hosil qiladi. Xromosferadan chiquvchi protonlar esa juda kichik bo'lgan muhit qatlamidan o'tganligi sababli bunday zarralardan yadro ta'sirining effektlari kuzatilmaydi. Lekin bir qism protonlar Quyosh ichiga qarab tarqaladi va yadrolar bilan ta'sir qilib, pionlar, kaonlar va izobar zarralarni hosil qiladi. π^0 - mezonlarning bo'linishida hosil bo'lgan fotonlar tezligi pionlar tezligidan katta bo'lib laborator sistemada orqa sferaga tarqalishi mumkin. Shuning uchun Quyoshdan maksimumi bir necha MEV – da bo'lgan, spektrga ega bo'lgan fotonlar oqimi hosil bo'ladi. Tormozli nurlanish fotonlarining spektri, energiya oshishi bilan sekin kamayish shakliga egadir. Chaqnashlarda uzluksiz spektrga ega bo'lgan fotonlardan tashqari elektron – pozitron va yadro reaksiyalarida hosil bo'lgan chiziqli spektrga ega bo'lgan fotonlar ham mavjuddir. Chaqnashlardan

hosil bo'lgan fotonlarni o'rganish endigina boshlanayapti. Chaqnashlarning fotonlardan tashqari boshqa neytral mahsulotlari masalan: neytronlari ham mavjuddir. Kichik energiyali neytronlar (unlab MEV), Yerga kelish yo'lida bo'linadi. Ularni qayd qilish uchun Merkuriy arbitasi soxasida tajribalar o'tkazish proyektlari tuzilgan.

Zaryadlangan pionlar va kaonlarning bo'linishi natijasida myuonli neytrina okimi hosil bo'lishi kerak. Bunday neytrinolar fotonlardan farqli juda katta muhit qatlamidan bemalol o'tadi va shuning uchun Quyosh chaqnashi yuz bergan joyning qarama-karshi tomonida chaqnash indikatori bo'lishi mumkin. Hozirgi paytda bunday neytrinolar to'g'risidagi tajribalar mavjud bo'lmay, Yerning sun'iy yo'ldoshlari yordamida qayd etilgan energiyasi 50 MEV dan katta fotonlar bunday neytrinolarni borligini tasdiqlaydi. Kosmik zarralarning tezlashtirilishini bir necha mexanizmlari mavjuddir. Masalan: statistik mexanizm. Statistik mexanizm zarralarni darajali energetik spektrga egaligiga olib keladi. Lekin tajribaning ko'rsatishicha zarralarning energetik spektrini bir xil qonun bilan ifodalash mumkin emas. Agar yuqori energiyalarda spektr haqiqattan ham $\gamma = -5 \div -7$ bo'lgan darajali funksiya bilan ifodalansa, past energiyalarda u eksponensialdir.

Spektrning qiyaligi bitta chaqnash vaqti dovomida oshadi. Mavjud bo'lgan barcha natijalarning ko'rsatishicha Quyosh atmosferasida zarralarni tezlashtirishning bir necha mexanizmi ishlaydi. Quyosh atmosferasining ma'lum soxalarida tez oshuvchi magnit maydon hosil bo'lib, bu maydon ta'sirida zarralar xuddi betatronda tezlashtirilgandek tezlashtiriladi.

S. I. Sirovatskiyning ko'rsatishicha Quyosh plazmasi sharoitida elektr maydoni ham hosil bo'ladi. Bunday sharoitlar Quyosh dog'larining qarama-qarshi yo'nalgan magnit maydonlari bilan tutashgan sohalarida hosil bo'ladi. Dog'larning tezlik bilan yaqinlashishi magnit maydon o'zgartiradi. Shuning uchun elektr maydonni hosil bo'lib zarralar tezlashtiriladi. Kichik vaqt oralig'ida magnit maydon energiyasi zarralar energiyasiga transformasiyalanadi. Bunday mexanizm ta'sirida zarralarni nafaqat Quyoshda balki boshqa manbalarda ham tezlashtirishida rol o'ynashi mumkin.

Mavjud bo'lgan eksperimental natijalar, Quyosh kosmik zarralarining sayyoralararo kosmik fazoda o'tishida zarbali to'lqinlar bilan to'qnashishida yoki turli tezlikli frontlar bilan to'qnashishida qo'shimcha tezlashtirilishi mumkin.

Yechish uchun misol va masalalar:

1. Quyosh massasi $2 \cdot 10^{33}$ kg, radiusi $7 \cdot 10^{10}$ sm ga tengdir, uning muhitining o'rtacha zichligini, radiusining yarmiga teng chuqurligidagi bosimini va temperaturasini aniqlang.

2. Yer atmosferasidan tashqarida o'tkazilgan o'lchashlarning natijalariga va Quyosh spektridagi energiyaning taqsimlanishiga ko'ra Quyosh doimiysining qiymati (1367 ± 6) Vt/m², yoki 2 kal/(sm²·min) ekanligi aniqlangan. Quyosh doimiysini qiymatiga ko'ra quyosh yorqinligini va uning effektiv temperaturasini toping?

Energiya radiusi $r=1a.b.=149,6 \cdot 10^9$ m bo'lgan sfera sathidan hamma tomonga o'tayapti. Bu sferaning har bir m^2 – ga $S_0 \approx 1,37 \cdot 10^3$ vt energiya to'g'ri keladi. Shuning uchun, Quyosh yorqinligi $L=S_0 \cdot 4\pi r^2 \approx 3,86 \cdot 10^{33}$ erg/s bo'ladi. Bunga ko'ra aniqlangan Quyosh effektiv temperaturasi ~ 5770 K ga teng bo'ladi. Yer, Quyosh tomonidan nurlanayotgan bu energiyaning $5 \cdot 10^{-10}$ hissasini oladi.

3. Ma'lumki, Quyosh energiyasining manbai vodorodning geliyga aylanish reaksiyasidir. Bunday aylanishlarning mexanizmiga bog'liqsiz har bir $4P \rightarrow He^4$ siklida o'rtacha hisobda $Q \approx 26,7$ Mev yadro energiyasi ajralib, bu energiya oxir oqibat Quyosh sathidan, issiqlik energiyasi ko'rinishida nurlanadi. Quyosh yorqinligi qiymatini hisobga olib, Yer yuzida neytrinolar oqimining N_ν qiymatini toping?

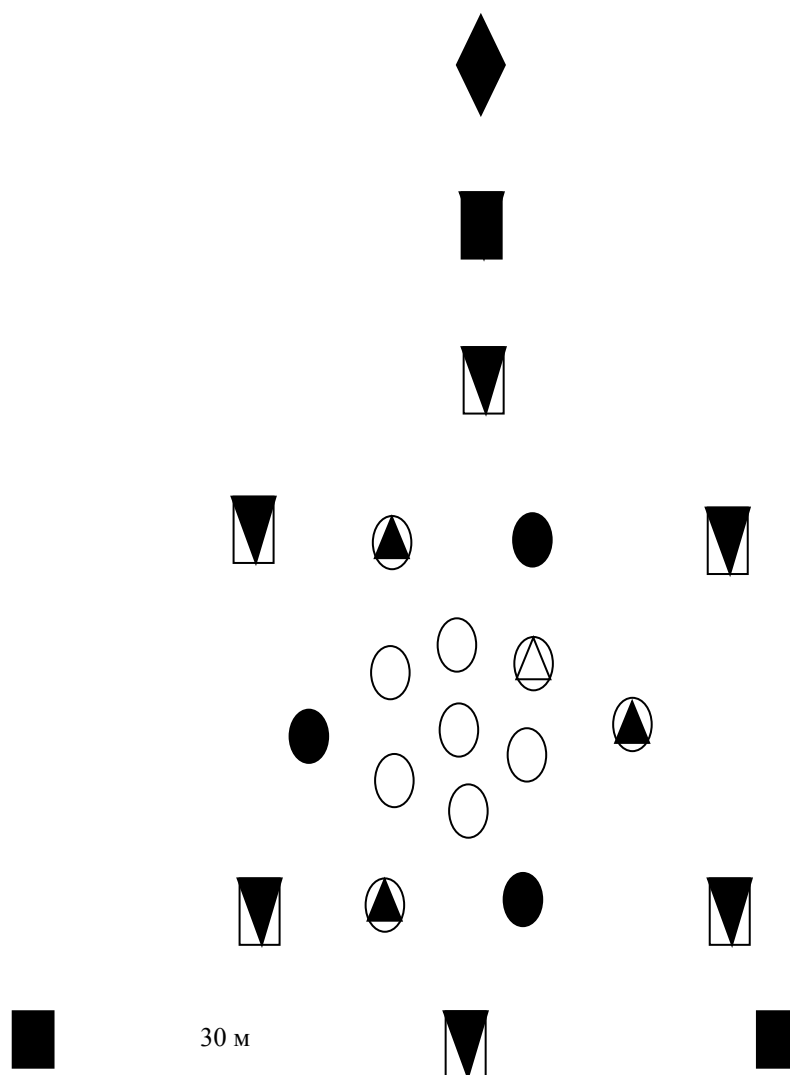
Q porsiya energiyaning Quyosh sathidan nurlanishi ikkita neytrinoning nurlanishi bilan o'tishini nazarda tutib, 1 sekund davomida Quyoshdan chiqayotgan neytrinolar oqimi quyidagicha bo'lishini topamiz:

$$N_\nu = \frac{2L}{Q} = 1,8 \cdot 10^{38} \text{ нейтрино / с.}$$

Kosmik nurlarni qayd qilishning ssintillyasion va Cherenkov qurilmalari.

1. Energiyasi katta bo'lgan kosmik nurlarni qayd qilish qurilmalari.

Kosmik nurlarni va ularni Cherenkov nurlanishini qayd qilish uchun ko'p hollarda ssintillyasion va Cherenkov nurlanishi detektorlaridan foydalaniladi. Bunday detektorlar moslik sxemasi asosida ulangan holda ishlaydi va keng atmosfera yog'dusini (KAYo) qayd qilish qurilmasini tashkil etadi. Bunday detektorlar qayd qilish sathida bir – biridan turli masofalarda o'rnatilgan bo'ladi. KAYo qurilmasining markazidan katta masofalarda, qayd qilish effekti yuzasi katta bo'lgan detektorlardan foydalaniladi. Chunki KAYoning markaziy – o'qidan boshlab o'lchanuvchi masofa oshgan sari zarralar zichligi ham, Cherenkov nurlanishi oqimi zichligi ham kamayib boradi. Har qanday KAYo o'rtasidan shunday bir o'qni o'tkazish mumkinki, bu o'q atrofida zarralarning zichligi eng katta bo'ladi, bunday o'qga KAYoning o'qi deyiladi. KAYolarni va ular bilan bog'liq bo'lgan Cherenkov nurlanishlarni o'rganishda, masofani, KAYoning o'qidan boshlab o'lchash kabul kilingan. KAYo dastgoxlarida detektorlarning joylashish sxemasi 11- chi rasmda Samarqand KAYo qurilmasi misolida kursatilgan. Bu qurilma 13- ta Cherenkov nurlanish detektorlaridan va 19- ta ssintillyasion detektorlardan tashkil topgan. Dastgoxning markazidan 15 m masofada, muntazam olti burchaklining burchak shaklida 6- ta qayd qilish yuzasi $0,5 m^2$ dan bo'lgan ssintillyasion detektorlar o'rnatilgan. KAYo zarralari zichligini qayd qilish uchun yana yuzasi $1m^2$ va $2m^2$ bo'lgan ssintillyasion detektorlardan foydalanilgan. Bu detektorlar, ustanovka markazidan 30m masofada (yuzasi $1m^2$ bo'lgan ssintillyasion detektorlar) teng tomonli 6- ti burchaklining burchaklarida, 60 m masofada (yuzasi $2m^2$ bo'lgan ssintillyasion detektorlar) teng tomonli 6- ti burchaklining burchaklarida o'rnatilgan.



Расм 11. Кенг атмосфера ёгдуси курилмаси

- - qayd qilish yuzasi $S=0,5\text{m}^2$ bo'lgan ssintillyasion detektorlar, $R=15\text{m}$
- - qayd qilish yuzasi $S=1\text{m}^2$ bo'lgan ssintillyasion detektorlar, $R=30\text{m}$
- - qayd qilish yuzasi 2m^2 bo'lgan ssintillyasion detektorlar, $R=60\text{m}$
- △ - bitta FEKdan tashkil topgan Cherenkov detektori, $R=15\text{m}$;
- ▲ - 3- ta FEKdan tashkil topgan Cherenkov detektori $R=60\text{m}$
- - 7- ta FEKdan tashkil topgan Cherenkov detektori $R=120\text{m}$

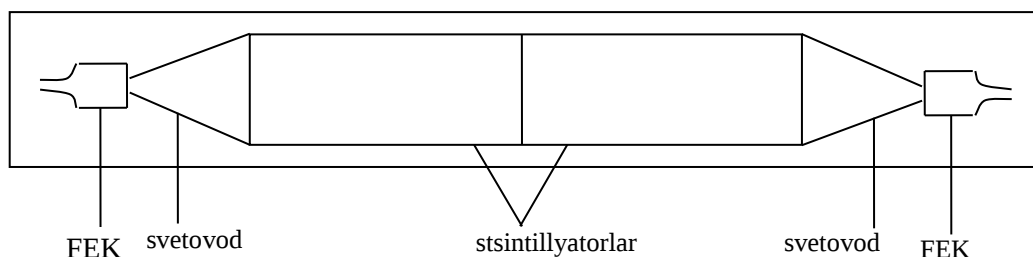
Cherenkov nurlanishi oqimini qayd qilish uchun Cherenkov detektorlaridan foydalanishni yuqorida qayd etdik. Samarqand KAYo qurilmasida 13 – ta Cherenkov detektorlaridan foydalanilgan qurilma markazidan 15 m masofada bitta Cherenkov detektori o'rnatilgan bo'lib, u bitta FEK (fotoelektron ko'paytirgich) dan tashkil topgan. Uning, qayd qilish bchegarasi $12\text{fot}/\text{sm}^2\cdot\text{ev}$ – ga tengdir.

Dastgox markazidan 30m masofada uchburchak uchlarida 3- ta shunday Cherenkov detektori o'rnatilgandir. KAYo dastgoxining markazidan 60m masofada esa 6- ti burchaklining burchaklarida 6- ta 3 FEK- li harbirining kayd

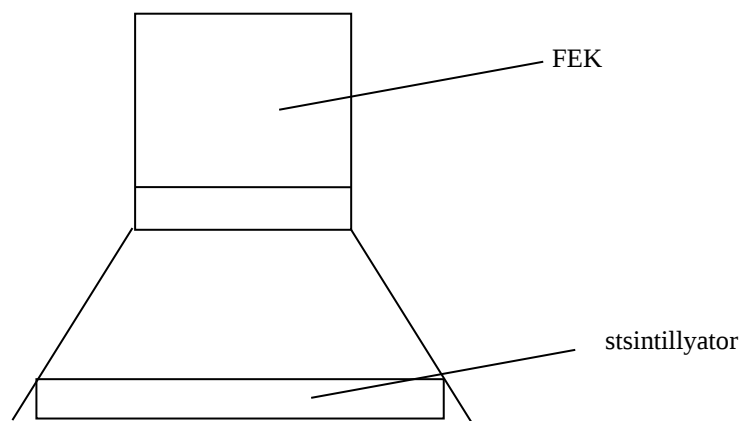
kilish chegarasi $2\text{ fot/sm}^2 \cdot \text{eV}$ bo'lgan Cherenkov detektorlari o'rnatilgandir. Bu dastgoxida markaziy ssintillyasion va 30 m masofada joylashgan ssintillyasion detektorlarda bir vaqtli KAYoning zarralari qayd qilinganda yoki master impuls hosil qilinganda, bu KAYo deb qabul qilinib detektorlar ko'rsatkichlari qayd qilinadi. Xuddi shunday markaziy va 60 m masofada o'rnatilgan Cherenkov nurlanishi detektorlarning bir vaqtda qayd qilinishiga ko'ra KAYo ajratib olinishi ham mumkin. Bunday ssintillyasion yoki Cherenkov detektorlariga masterli detektorlar deyiladi. Birlamchi kosmik zarraning kelishi burchaklari (θ – *зенит*, φ – *азимуталь*), masterli detektorlarning, markaziy masterli detektorga ko'ra qayd qilish vaqtini farqiga ko'ra topiladi. KAYo tug'risida qayd qilingan eksperimental natijalarga ko'ra, oldindan tuzilgan matematik dastur asosida, elektron hisoblash mashinasi yordamida KAYo – ning asosiy parametrlari (birlamchi zarrachaning kelish yo'nalishining aniqlovchi θ va φ burchaklar, KAYo uqining kuzatish sathi bilan kesishishi nuqtasining koordinatalari, birlamchi zarra energiyasi va KAYo – dagi zarralar soni) topiladi. Topilgan parametrlarga ko'ra birlamchi kosmik zarralarning burchak buyicha taqsimlanishi, energetik spektri KAYo- ning fazoviy yoki kundalang taqsimlanishi, KAYo zarralari bo'yicha spektri va hokazolar aniqlanadiki, bu natijalar kosmik zarralar fizikasi va astrofizik masalalarni hal etishda juda zarurdir.

2. Ssintillyasion va Cherenkov detektorlarining tuzilishi va ishlash prinsipi.

Yuqorida qayd qildikki, kosmik zarralar zichligini va Cherenkov nurlanishi oqimining zichligini qayd qilishda, KAYo qurilmalarida mos ravishda ssintillyasion va Cherenkov detektorlaridan foydalaniladi 12 a rasmda ssintillyasion detektorlardan birining konstruksiyasi kursatilgan bo'lib, bo'nday detektorlarning zarralarni sezuvchi qismi ikkita uzaro kleylangan har birining o'lchami $500\text{ mm} \times 500\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ bo'lgan ssintillyatorlardan iboratdir. Bunday detektorlarning qayd qilish yuzasi $0,5\text{ m}^2$ – ga teng. Yorug'lik yo'qotishini kamaytirish maqsadida bunday ssintillyasion detektorni qayd qilish qismi, ssintillyator ikki tomonidan ikkita svetovod (yorug'likni fotoelektron kuchaytirgichga yo'naltiruvchi) kleylangandir. Svetovodlar ham ssintillyator materialidan yasalgandir. Svetovodlarning bunday urnatilishi impuls amplitudasini kosmik zarraning ssintillyatorga tushish joyiga bog'liqligini kamaytiradi.

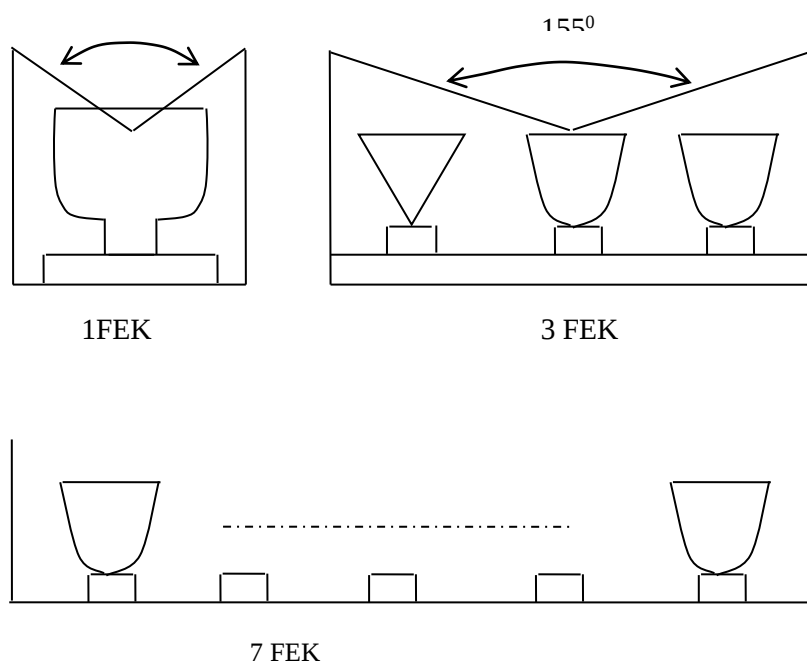


Rasm 12a. Qayd qilish yuzasi $0,5\text{ m}^2$ bo'lgan ssintillyasion detektorlar konstruksiyasi.



Rasm 12b. Qayd qilish yuzasi 1 m^2 va 2 m^2 bo'lgan ssintillyasion detektorlar konstruksiyasi.

Bunday konstruksiyalar, qalinligi **1mm** bo'lgan alyuminiyli plastinkalardan yasalgan yashikga joylashtirilganidir. **FEK** anodi tashqariga chiqarilib kuchlanishi boshqariladigan, yuqori kuchlanish manbaiga ulangandir. KAYo elektron fotonlarini qayd qilish uchun yana yuzasi **1 m^2** va **2 m^2** bo'lgan ssintillyasion detektorlaridan foydalaniladi. Bunday detektorlarda, qayd qilish yuzasi **$0,5\text{ m}^2$** bo'lgan ssintillyasion detektorlardan farqli **FEK**-lar ssintillyator ustiga mos ravishda **800 mm** va **1200 mm** balandlikda o'rnatilganidir. Ssintillyasion detektorlarning alyuminiyli yashiklari ichkarisidan yorug'likni qaytaruvchi oq emal bilan ranglanganidir. Yorug'likni qaytaruvchi yuzalar, yorug'lik yig'ishni 2 marotiba oshiradi. Ssintillyasion detektorlarda **FEK-49b** fotoelektron kuchaytirgichlaridan foydalanilganidir. Detektorlarda foydalaniladigan taksimlagichlar, **FEK** – ni to'liq o'lchash diapozonida ($\sim 200\mu\text{A}$)- gacha impulsli rejimda, impuls uzunligi ~ 100 nsek, chiziqliligini saqlaydi. Anod tokining amplitudasi **LC** – o'zgartiruvchi yordamida amalga oshiriladi. Bunday o'zgartiruvchining dinamik diapozoni $\sim 3 \cdot 10^3$ ga tengdir. Qayd qilingan ediki, Cherenkov nurlanishning oqimi Cherenkov detektorlari yordamida o'lchanadi. Bunday detektorlarning konstruksiyasi rasm 12 v da kursatilgan bo'lib, bunday konstruksiya $\sim 55^\circ$ burchakgacha tushuvchi nurlanish oqimlarini o'lchaydi. Ssintillyasion detektorlarda kabi, Cherenkov detektorlaridagi ham logarifmik **ASP**-lardan foydalaniladi. Cherenkov detektorlarida **FEK** va **ASP** orasida chiziqli utkazgich o'rnatiladi. Chunki Cherenkov detektorlari uzluksiz ravishda atmosferadan tushayotgan yorug'lik foni ostida ishlaydi. Bunday fon anod toki fluktuasiyalarining sababchasiidir.



Rasmi 12v. Cherenkov detektorlarining konstruksiyasi.

Cherenkov detektorlaridan chiquvchi signal, chiziqli yorug'likni o'tkazgichining kirish kismga uzatiladi. Utkazgich fon hosil qilgan xayirikni kesib tashlab foydali yorug'likni o'tkazadi. Bunday yorug'lik o'tkazgichning dinamik diapazoni $\sim 5 \cdot 10^2$ voltga tengdir.

III. Detektorlarda Cherenkov nurlanishi oqimi zichligini, ssintillyasion detektorlarda zarralar zichligini aniqlash.

Anod tokining kattaligi ssintillyasion detektorlarda logarifmik **ASP** yordamida o'lchash mumkinligini qayd etgan edik. **ASP** unga kirayotgan signalni quyidagi qonun bo'yicha diskret sonlarga aylantiradi:

$$\eta_i = h_i \lg \frac{u_i}{u_0} \quad (4.1)$$

Bunda h_i **ASP** qadami, u_i **ASP** ga kirayotgan signal amplitudasi, u_0 **ASP** – ning signallarni qayd qilish amplitudasi ($U_0 \cong 2 \div 2,5 M\text{eV}$), η_i - **ASP** chiqishidagi signal kattaligini ifodalovchi son, n - songa mos keluvchi ssintillyasion detektor qayd qilish effektiv yuzasiga tushayotgan zarralar soni N – ni topish uchun detektorni kalibrovkalash zarurdir. Ya'ni, detektorga tushuvchi bitta zarraga mos keluvchi signal amplitudalarini taqsimlanishini o'lchash zarur bo'lib, bu taqsimlanish maksimumiga to'g'ri keluvchi sonni $n_{\max}$ bilan ifodalasak, u holda kursatish mumkinki,

$$N = 10 \frac{n_i - n_{\max}}{h} \quad (4.2)$$

bo'ladi. Bu formulada n_i va $n_{\max}$ mos ravishda detektorga bitta va N ta zarra tushgandagi detektor (**ASP**) chiqishidagi sonlardir. Tajribalarning ko'rsatishicha n_i sonlar ± 1 xatosi bilan o'lchanib, bu N – ni o'lchashni 12%- li xatosiga muvofiq keladi.

Cherenkov detektorlarida ham logarifmik **ASP** – lardan foydalanilganligi sababli, Cherenkov detektorlariga tushuvchi Cherenkov nurlanishi oqimi quyidagi formula buyicha xisoblanishini ko'rsatish mumkin.

$$Q = Q_0 * 10^{\frac{n - n_{\max}}{h}} (\phi_{om} / \text{cm}^2 * \text{эв}) \quad (4,3)$$

Bu formulada n va $n_{\max}$ – lar Cherenkov detektoriga mos ravishda Q^0 va Q ga teng bo'lgan Cherenkov nurlanishi oqimi tushganidagi ulchangan impuls soni, h – **ASP** qadami. Cherenkov detektorlarini kalibrovka qilishda shunday ssintillyasion plastinkalardan foydalaniladiki, unga tushayotgan Q_0 oqimni qiymati ma'lumdir. Tajribalarning ko'rsatishicha Q_0 , ~ 25% aniqlik bilan o'lchanadi.

Neytron monitorlari.

1. Kosmik nurlar neytron komponentasini qayd qilish.

Kosmik nurlarning neytronli komponentasi, ikkilamchi kosmik nurlar bo'lib, ular birlamchi yadro aktiv kosmik zarralarning Yer atmosferasidan o'tish jarayonida, Yer atmosferasining muhitini atom yadrolari bilan ta'siri natijasida hosil bo'lgan.

Neytronli komponentaning kenglik effekti birlamchi kosmik zarralar kenglik effekti darajasigacha bo'lib, μ - mezonlarning kenglik effektidan ancha kattadir. Bundan neytronlar energiyasi uncha katta bo'lmagan Yer magnit maydonining o'zgarishini sezuvchi zarralar mahsuloti ekanligi kelib chiqadi. Shuning uchun kosmik nurlar neytronli komponentasini oqimini o'zgarishi, energiyasi uncha katta bo'lmagan birlamchi kosmik nurlar oqimini o'zgarishini aks ettiradi.

Neytronlar asosan energiyasi uncha katta bo'lmagan stabil zarralarning yadroviy ta'sirlari natijasida tug'ilganligi uchun, ular temperatura effektiga ega bo'lmasdan, uncha katta bo'lmagan barometrik effektga egadir. Ya'ni neytronlarning intensivligi, qayd qilish detektorlarining ustidagi havo bosimining o'zgarishiga bog'liq ravishda o'zgaradi. Neytronlarning bunday atmosferik variyasiyasiga barometrik effekt deyiladi.

Kosmik nurlar neytronli komponentasini barometrik effektini hisobga olish matematik usullari ishlab chiqilgan, shuning uchun neytron komponentasini o'lchash yo'li bilan birlamchi kosmik nurlarni intensivligini vaqtli variyasiylarini tadqiq qilish, qulay metodlardan biri bo'lib hisoblanadi. Neytronlarni BF_3 gazi bilan to'ldirilgan proporsional schetchiklar yordamida qayd qilish mumkindir, va bu yo'l neytronlarni qayd qilishning yagona yo'lidir. **BF₃** gazi B_5^{10} va B_5^{11} izotoplari

aralashmasidan iborat bo'lganligi va neytronlar B_5^{10} gazi bilan reaksiyaga kirganligi sababli, schetchik yuqori bosimlargacha B_5^{10} izotopi bilan boyitilgan VF_3 gazi bilan to'ldirilgan bo'ladi. Neytronlar B_5^{10} izotop bilan quyidagicha reaksiyaga kirishadi:



Bunday reaksiya natijasida **2,5 MEV** energiya ajraladiki, uning **1,6 MEV** qismi α – zarralarga mos kelsa, **9 MEV** energiyani **Li** olib ketadi. Bunday reaksiya natijasida tug'ilgan har ikki zarra qarama-qarshi tomonlarga harakat qilib, schetchik ichida chopish yo'lini to'la ishlatilganda **80000** juft ionlarni hosil qiladi. **BF₃** gazi tez rekombinasiyalanuvchi gazlar sinfiga mansub. Bunday schetchikning kuchaytirish koeffitsiyenti bir necha mingga teng bo'lib, u uzoq vaqt davomida stabil ishlaydi. Bu schetchiklarning voltamper xarakteristikasi, keng to'yinish toki sohasiga egadir. Chunki ichki α - zarralarning hosil bo'lishidagi impuls kattaligi, β – zarralar va ionlashgan kosmik zarralar impulsalaridan kattadir. Aytish lozimki, qayd qilishning har bir qadamida B_5^{10} izotopining birgina yadrosi sarflanadi, shuning uchun bor gazi bilan to'ldirilgan schetchiklarining ishlash vaqti juda kattadir.

Schetchiklarning turli muhitlar bilan o'rab (ularda zarralarning susaytirishi va generatsiyasi vujudga keladi) turli detektorlarni hosil qilishi mumkin.

Neytron monitorlarida schetchiklar, parafin plastinkalari (ularda neytronlarning susaytirilishi amalga oshadi) va qo'rg'oshin plastinalari bilan (unda neytronlar generatsiyasi vujudga keladi) o'ralgan bo'ladi. Kuzatishlarning ko'rsatishicha (4.4) reaksiyasining bajarilishi ehtimoliyati neytronlar tezligiga teskari proporsional bo'lib, isiqqliq neytronlari uchun maksimal qiymatga ega bo'ladi. Shuning uchun schetchiklar parafin plastinkalari bilan o'raladi, neytronlar parafindan susayib o'tib, schetchik yordamida (4.4) reaksiya natijasida hosil bo'lgan impuls asosida qayd qilinadi. Bunday detektor Yer atmosferasidan kelayotgan neytronlarning qayd qilganligi sababli, tashqarida yuz beruvchi o'zgarishlar, qor yog'ishi yoki yomg'ir yog'ishiga xam sezuvchan bo'ladi. Bunday detektor yordamida qayd qilingan natijalarda, kerakli jarayonlarga tuzatma kiritish ancha qiyin bo'lganligi sababli, lokal (o'z hajmida tug'ilgan neytronlarni qayd qiluvchi) detektorlardan foydalanadilar. Lokal detektorlarda schetchiklar qo'rg'oshin qatlami bilan ham o'ralgan bo'ladi. Bunday detektorlarda Yer atmosferasidan keluvchi neytronlar parafinning tashqi qatlamidan susayib o'tib, qo'rg'oshin qatlamida yutiladi. Kosmik nurlarning yadro aktiv komponentalari tashqi parafin qatlamidan bimalol o'tib detektorning qurg'oshin qatlamidan o'tayotganda, qo'rg'oshin muhitning atom yadrolari bilan bo'ladigan kaskad yadro ta'sirlari natijasida neytronlar hosil qiladi. Bunday neytronlarga karrali neytronlar deyiladi. Karrali neytronlar detektorlarning ichki parafin qatlamidan susayib o'tib, schetchikda (4.4) reaksiya asosida impuls hosil qilib qayd qilinadi. Shuning uchun bunday neytronli detektorlarga lokal detektorlar deyiladi. Samarqand neytron

supermonitori 4 – seksiyali monitor bo'lib, uning har bir seksiyasida 6 – ta dan schetchiklar mavjuddir. Bu monitoring effektiv qayd qilish yuzasi 24m^2 ga teng bo'lib energiyasi 7 GEV dan katta bo'lgan (qayd qilish joyining geomagnit holatiga bog'liq bo'ladi) kosmik zarralarni qayd qilishga mo'jallangandir. Neytronlarni sanash tezligi o'rtacha hisobda $32000\text{impuls}/5$ minutga teng bo'lib, kosmik nurlarning intensivligini qayd qilish aniqligi, nafaqat katta davrli variatsiyalarini qayd qilish, balki kichik davrli variatsiyalarni (kosmik nurlar intensivligini fluktuatsiyalarini) ham o'rganish imkonini beradi.

2. Olingan eksperimental natijalarni qayta ishlash metodi.

Kosmik nurlarni qayd qiluvchi har qanday detektorlarning qayd qiluvchi effektiv yuzasi chekli ekanligi sababli, bunday detektor vaqt birligida cheklangan sondagi zarralar miqdorini sonini qayd qiladi. Samarqand neytron supermonitorida bunday vaqt birligi sifatida 5 minutga teng vaqt qabul qilingandir. Detektor yordamida qayd qilingan 5 minutlik natijalar qatori $n_1, n_2, \dots, n_k$ bo'lsin, bunda k - qatordagi natijalar soni. Qayd qilish aniqligini oshirish uchun, biror vaqt davomida o'rtachalashtirilgan natijalardan foydalanish mumkin.

$$\bar{n} = \frac{n_1 + n_2 + \dots + n_k}{K} \quad (4.5)$$

Faraz qilamizki, qayd qilinayotgan zarralar soni K – marotiba qayd qilish vaqti davomida o'zgarmagan bo'lsin. U holda quyidagicha yozish mumkin:

$$\sigma_{n-\bar{n}}^{\phi_n} = \frac{1}{K} \sqrt{n_1 + n_2 + \dots + n_k} = \frac{1}{K} \sqrt{K\bar{n}} = \frac{\sigma_{n-\bar{n}}}{\sqrt{K}} \quad (4.6)$$

Nisbiy xato ham shuncha marotiba kichik bo'ladi.

$$\sigma_I^{\phi_n} = \frac{\sigma_{n-\bar{n}}^{\phi_n}}{\sqrt{K}} \quad (4.7)$$

Ko'rsatish mumkinki, bir sutka davomida qayd qilingan eksperimental natijalarni o'rtacha qiymatidan foydalanish o'rtacha nisbiy xatoni $\sqrt{24} \approx 5$ -marotiba kamaytiradi. Odatda bir soat davomida qayd qilingan intensivlikning o'rtacha qiymati foizlarda quyidagicha ifodalanadi:

$$I = \frac{n - \bar{n}}{n_0} 100\% \quad (4.8)$$

Intensivlik I^{n_0} - ning haqiqiy qiymati $I \pm \sigma_I^{\phi_n} * I$ intervalda yotadiki, bunda

$$\sigma_I^{\phi n} = \frac{1}{n} * 100\% \quad (4.9)$$

bo'ladi.

Lekin I – intensivlikning o'rtacha qiymatini hisoblashda shuni esda tutish kerakki, I – ning qiymati o'lchash davomida o'zgarib turadi. Shuning uchun (4.7) formula kvadratik xatoning pastki chegarasini ko'rsatadi:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^K I_i}{K} \quad (4.10)$$

Sinov savollari:

1. Quyosh chaqnashlari kosmik zarralar manbai ekanligini isbotlovchi argumentlarni aytib bering?
2. Nima uchun kosmik zarralarning tarqalishi diffuzion tenglama bilan ifodalanadi?
3. Zarralar intensivligi vaqtga bog'liq ravishda qanday o'zgaradi?
4. Quyosh chaqnashi davrida hosil bo'lgan zarralar ximiyaviy tarkibi qanday?
5. Magnit birjinslimaslarini o'lchamini qanday aniqlash mumkin?
6. Quyosh chaqnashi davrida hosil bo'lgan zarralar, chaqnash energiyasini qancha qismini tashkil etadi?
7. Quyosh myuonli neytrinolarini qayd qilishning qanday imkoniyatlari bor?
8. Quyosh kosmik zarralarning tezlashtirilish mexanizmlarini tushuntiring?
9. KAYo qurilmalarida detektorlarning taqsimlanish geometriyasini tushuntiring?
10. Nima uchun KAYo o'qidan uzoqlashgan sari, qayd qilish yuzasi katta bo'lgan detektorlaridan foydalaniladi?
11. Cherenkov detektorlarning konstruksiyasini tushuntiring?
12. Ssintillyasion detektorlarning konstruksiyasini tushuntiring?
13. Moslik sxemasi nima? KAYo qurilmalarida bunday sxemadan nima uchun foydalaniladi?
14. Ssintillyasion detektorlarga tushuvchi zarralar sonini aniqlash formulasini tushuntiring?
15. Cherenkov detektorlarida uning yuzasiga tushayotgan Cherenkov nurlanish oqimining zichligi formulasini tushuntiring?
16. Kosmik nurlarning neytron komponentasini qayd qilish usulini tushuntiring?
17. Neytron monitorlarining tuzilishi va ishlashini tushuntiring?
18. Neytron monitoridagi parafin nima uchun kerak?
19. Neytron monitorlaridagi qo'rg'oshin nima uchun ishlatiladi?
20. Nima uchun neytron monitorini lokal detektorlari deyiladi?
21. Qayd qilingan eksperimental natijalar nima uchun qayta ishlanadi?

Adabiyotlar:

1. T.A.Alimov, B.M.Maxmudov. «Cherenkovskiy metod izucheniya kosmicheskix luchey sverkhvysokix energiy». Izd-vo SamGU, 2004.
 2. V.S.Murzin. «Vvedeniye v fiziku kosmicheskix luchey» Izd-vo MGU, 1988.
 3. Dorman L.I. Variasii galakticheskix kosmicheskix luchey. M.: Izd-vo MGU, 1975.
 4. B.D.Abduraxmonov, T.A.Alimov, B.M.Maxmudov, N.S.Sirojev. Magnitnaya polya solnsa i gelioseysmologiya, Sankt-Peterburgt, 1994, s.17.
 5. Dorman L.I., Pimenov I.A., Sasuk V.V. Matematicheskoye obespecheniye issledovaniy geofizicheskix zakonomer-nostey na primere kosmicheskix luchey. M.: Nauka, 1978.
-

O'zgarmas kattaliklar jadvali.

1.	Yorug'lik tezligi	$2,988 \cdot 10^{10} \text{ cm / sek}$
2.	Tortishish doimiysi	$6,67 \cdot 10^{-8} M^3 / KPC^2$
3.	Vodorod atomining massasi	$1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$
4.	Stefan doimiysi	$5,67 \cdot 10^{-5} \text{ erg / cm}^2 \cdot \text{cm} \cdot \text{gradus}^4$
5.	Vin siljishi qonunidagi doimiylik	$2,90 \cdot 10^7 \text{ A}^\circ \text{ gradus}$
6.	Yer massasi	$5,96 \cdot 10^{27} \text{ g}$
7.	Yer ekvatorial radiusi	$6,378 \cdot 10^8 \text{ cm}$
8.	Tropik yil	365,2422 <i>сутка</i>
9.	Siderik yil	365,2564 <i>сутка</i>
10.	Ekvatorning ekleptikaga og'ish burchagi	$23^h 27^m 9.5(1900)$
11.	Ekleptika bo'yicha prosessiya	$50^{11} 26,1 \text{ йилда}(1900)$
12.	Oyning o'rtacha masofasi	$3,844 \cdot 10^{10} \text{ cm}$
13.	Oy massasi	$7,35 \cdot 10^{25} \text{ g}$
14.	Oy radiusi	$1,74 \cdot 10^8 \text{ cm}$
15.	Quyosh massasi	$1,99 \cdot 10^{33} \text{ g}$
16.	Quyosh radiusi	$6,96 \cdot 10^{10} \text{ cm}$
17.	Quyosh yorqinligi	$3,86 \cdot 10^{33} \text{ erg / sek}$
18.	1 astronomik birlik (a.ye)	$1,496 \cdot 10^{13} \text{ sm}$
19.	1 yorug'lik yili	$9,461 \cdot 10^{17} \text{ cm} = 6,324 \cdot 10^4 (a.b)$
20.	1 parsek (PS)	$3,262 \cdot \text{ёруз йили} = 2,0626 \cdot 10^5 (a.b)$ $= 3,086 \cdot 10^{18} \text{ cm}$
21.	Galaktika radiusi	15.000 – 20.000 MS?
22.	Galaktika markazidagi qalinlik	5000 MS?
23.	Galaktika markazidan Quyoshgacha bo'lgan masofa	1000 KPS
24.	Quyosh va galaktika markazi orasidagi masofada galaktikaning aylanish tezligi	250 km/sek