

**O`ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O`RTA MAXSUS TA`LIM
VAZIRLIGI
ALISHER NAVOIY NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
UNIVERISITETI**

qo`lyozma huquqida
UDK

HOTAMOV JAXONGIR ABDUMALIKOVICH

**KOINOT TUZILISHINING KOSMOLOGIK
MODELLARI**

**5A-4040302 - ASTROFIZIKA VA RADIOASTRONOMIYA
MUTAXASSISLIGI**

**MAGISTR
AKADEMIK DARAJASINI Olish uchun yozilgan
DISSERTATSIYA**

Ilmiy raxbar:

_____dots. T. Alimov

“ ____ ” “ ____ ” 2012 yil

M.O`.

SAMARQAND - 2012

MUNDARIJA

Kirish.....	3
Bob I. Kosmologiya haqida umumiy ma'lumotlar.....	6
§ 1.1. Kosmologik prinsp.....	6
§ 1.2. Relyativistik kosmologiya.....	8
§ 1.3. Nyuton qonunlariga asoslangan koinotning bir jinsli izotrop modeli.....	9
§ 1.4. Koinotning issiq modeli.....	13
Bob II. Koinot tuzilishining kosmologik modellari.....	18
§ 2.1. Metagalaktika modellari.....	18
§ 2.2. Fridman modeli va uning muammolari.....	26
§ 2.3. Metagalaktika strukturasi va fundamental konstantalari.....	22
Bob III. Birlamchi kosmik nurlarning kosmologik aspektlari.....	31
§3.1. Birlamchi kosmik nurlar energetik spektrini xususiyatlari.....	31
§3.2. Relikтли nurlanish va kosmik nurlar spektrining yuqori chegarasi.....	35
Bob IV. Kosmogoniya va kosmologiya masalalari.....	38
§ 4.1. Kuzatish natijalari va masalalari	38
§ 4.2. Nostatsionar koinot va masshtabli faktori	40
§ 4.3. Kritik zichlik.....	42
§ 4.4. To'g'ri modelni tanlash qiyinchiliklari.....	44
Xulosalar.....	51
Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati.....	52

KIRISH

Hozirgi zamon kosmologiya fani-bugun koinot hususiyatlarini, hususiy holda metagalaktikaning strukturasini va o'zgarish dinamikasini o'rganuvchi astrafizik nazariya hisoblanadi. Kosmologiya galaktikalarni va boshqa yulduzlar sistemalarini kuzatish natijalariga, umumiy nisbiylik nazariyasiga, mikrojarayonlar fizikasiga relyativistik termodinamika va bir qator yangi fizik nazariyalarga tayanadi. Kosmologiya fanining predmeti bo'lib koinotning hususiy hamda metagalaktikani o'rganish hisoblanadi. Koinotning (moddiy olamning) tabiiy va ilmiy usullariga kuzatish va o'rganish mumkin bo'lgan qismiga metagalaktika deyiladi. Metagalaktikaning hususiyatlari aniqlanib keyinchalik u bugun koinotga ekstrapolyatsiya qilinadi, lekin bunda, haqiqiy natijalar olinishiga hali olimlar yuz foiz ishonmaydilar. Kosmologiya fundamental fan bo'lib u boshqa fanlarga ko'ra ko'proq, dunyo tuzilishini turlicha tushunuvchi, turli filosofik kontsepsiyalarga bog'liqdir hozirgi zamon kosmologiya fani Eynshteyn tamonidan umumiy nisbiylik nazariyasi yaratilgandan keyin, bu nazariyaga asoslanib ko'rilgan bo'lib, shuning uchun klassik kosmologiyadan farqli hozirgi zamon kosmologiya faniga relyativistik kosmologiya deyiladi.

Buning uchun empirik baza bo'lib galaktikadan tashqari astranomiyaning ochilishi xizmat qildi. Bulardan eng muhimi galaktikalarning bir-biridan uzoqlashishini kashf etilishi hisoblandi. 1929 yilda amerikalik astrofizik Edvin Habbbl kuzatilayotgan galaktikalarning spektral chiziqlari qizilga tamonga siljiganligini ko'rsatdi. Bu hodisa qizilga siljish nomini olgan bo'lib, Dopler prinsipiga ko'ra galaktikalarni kuzatuvchidan uzoqlashayotganligini bildiradi. Uzoqlashish tezligi galaktikalargacha bo'lgan masofa bilan o'rtacha boradi. Bu omil katta portlash nazariyasi doirasida tabiiy tushuntiriladi. Unga ko'ra bir zamonlar koinot bir nuqtada to'plangan aql bovar qilmaydigan zich va qaynoq materiyaning portlash natijasida vujudga kelgan. Portlashda aql bovar qilmaydigan miqdorda energiya ajralib chiqqan. Galaktikalar va yulduzlar katta portlash "parchalaridan" hosil bo'lgan. Portlash nazariyasiga ko'ra o'shandan beri koinot kengayishdadir.

Relyativistik kosmologiya fanini rivojlanishida yangi bosqich rus olimi A.A. Fridmanning izlanishlari natijasida vujudga keldi. Fridman nazariy yoʻl bilan koʻrsatdi ki tortiluvchi muhit bilan toʻldirilgan koinot statsionar boʻla olmaydi, u davriy ravishda kengayish yoki qisilish lozimdir. Bu prinsipal yangi natija biz yuqorida keltirgan Habbllning qizilga siljishini ochilishida va koinotni kengayuvchan ekanligini isbot etilishida oʻz aksini topdi.

Kosmologiya fanning rivojlanishini uchinchi bosqichi kengayuvchan koinotning turli stadiyalarida oʻtuvchi fizik jarayonlarni oʻrganilishiga bogʻliqdir. AQSHlik astrofizik bu bosqich G.A. Gamovning ishlaridan boshlanadi. Gamovning ishlarida koinotdagi ximyaviy elementlarni paydo boʻlish jarayonlari oʻrganiladi. Hozirgi zamon nazariy astrofizika natijalarini koʻrsatilishicha ximyaviy elementlar yulduzlar qarida kechuvchi termoyadro reaksiyalarida sintez qilinadi. Termoyadro reaksiyalari yulduzlar nurlanish energiyalarini manbaidir.

Kosmologiya fani rivojlanishlari hususiyatlari, turli kosmologik modellarda oʻz aksini topdi. Bu modellarning koʻpchiligida koinot nostatsionar, izotrop va bir jinsli deb olinadi. Koinotning nostatsionarliligi uning oʻzgarmas statik holatda tura olmasligi, kengayuvchan yoki siqiluvchan boʻlishi kerakligini bildiradi. Koinotning izotropliligi undagi barcha nuqtalarda va yoʻnalishlarda uning hususiyatlari bir-hil ekanligini koʻrsatadi. Bir jinslilik koinotda muhitni oʻrtacha hisobda taqsimlanganligini bildiradi. Bir jinslilik va izotroplilikga yana koinotda tortilish kuchiga qarshi kuch yoʻq degan talab ham qoʻshiladi. Koinot modellari asosida Eynshtaynning umumiy nisbiylik nazariyasi tenglamasi, fazo-vaqt egriligi va bu egrilikni muhit massasi zichligiga bogʻlanishi tasavvirlari yotadi. Fazo va vaqt egriligicha koʻra yopiq va ochiq koinot modellari (nazariyalari) farqlanadi.

“Yopiq” koinot nazariyasi doirasida takidlanishicha, uning kengayishi qachonlardir toʻxtaydi va siqilishi boshlanadi, u oʻz navbatida kollapsga olib keladi. Koinot bir nuqtada siqilib, extimol, katta potrlashdan oldingi dastlabki holatiga keladi. Baʼzi nazariyalarda takidlanishicha, bundan keyin katta portlash qayta roʻy berishi mumkin va natijada “kengayish-siqilish” davri yana takrorlanadi.

Koinotning nostatsionar ekanligini unda kuzatiladigan ko'p eksperimental faktlar tasdiqlaydi. Bunday faktlardan biri kosmik nurlar energetik spektrining darajali funksiya bilan ifodalanishi va spektrning yuqori energiyalarda ($\sim 10^{20}$ eV) kesilishidir. Tajribaning ko'rsatilishicha kengayuvchan koinotda muhit kinetik energiyasining zichligi, magnit maydon energiyasining zichligi va kosmik nurlar energiyasining zichligi o'zaro teng bo'lib $\sim 10^{-12}$ erg/sm³-ni tashkil etadi. Bundan esa kosmik nurlar energetik spektrini darajali funksiya bilan ifodalanishi kerakligi kelib chiqadi. Tajriba esa buni tasdiqlaydi. Kosmik nurlar energetik spektri darajali $\sim AE_0^{-\gamma}$ –funksiya bilan ifodalanadi. Kosmik nurlarni spektrini darajali funksiya bilan ifodalanishi kengayuvchan koinotda ularni tezlashtirishni har qanday mexanizmi uchun o'rinlidir. Spektrni yuqoridan kesilishi esa nafaqat buning galaktika balki boshqa galaktikalar ham relikt nurlanishi bilan to'ldirilganligini ko'rsatuvchi dalildir. Koinot katta portlash natijasida vujudga kelgan deb olsak, uning keyingi rivojlanishi qanday vujudga kelgan degan tabiiy savol vujudga keladi.

Hozirgi zamon nazariya hisoblashlariga ko'ra koinot fizik vakumdan paydo bo'lgan. Nazariya va tajribalarning ko'rsatilishicha katta portlashdan keyingi juda qisqa vaqt davomida metagaktikaning rivojlanishi de-Sitter modeliga ko'ra juda tez (eksponentsial) ravishda vujudga kelgan. Koinot rivojlashida fazoviy o'tish yuz bergandan keyin, ya'ni unda hozirgi vaqtda kuzatiladigan muhit vujudga kelgandan keyingi rivojlanishi A.Fridman modeliga asosan vujudga kelgan bo'lishi extimoldan holi emas.

Bob I. Kosmologiya haqida umumiy ma'lumotlar

§ 1.1. Kosmologik prinsp.

Kosmologiya butun bir koinotni, fizikaviy tabiati, tuzilishi va evolyutsiyasini o'rganuvchi fandir. Xususiyl holda kosmologiya koinotning ko'rinuvchi, metagalaktika deb ataluvchi qismi to'g'risidagi fandir. Buning uchun kosmologiya eng avval eksperimental kuzatishlar natijalariga tayanadi. Kosmologiya koinotning kuzatilishi mumkin bo'lgan qatlamining xususiyatlarini aniqlab, uni butun koinot uchun umumlashtiradi. Lekin butun koinotning xususiyatlari uning bir qismini xususiyatlaridan farq qilishi mumkin. Metagalaktika uchun olingan eksperimental natijalar butun koinotda ekstrapolyatsiya qilinadi. Bundan tashqari tabiatning fundamental qonunlari butun koinot uchun taqriban to'g'ridir.

Muhit o'rtacha zichligining doymiyliyi 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 bir jinslimaslarning masshtabidan kattadir.

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

Kosmologiyada muhit o'rtacha zichligining katta masshtablarda o'zgarmas qolishiga, koinotning nisbatan umumiy xususiyati bir jinsliliyi va izotropliyi natijasi sifatida qaraladi. Birjinslilik materiyaning barcha xususiyati butun koinotda bir hilliligini bildirsa, izotroplik esa turli yo'nalishlarda bir hilliligini bildiradi. Boshqacha qilib aytganda, birjinslilik koinotda biror xususiyati bilan ajratilgan sohalar yo'qligini bildirsa, izotroplik ajratilgan yo'nalish yo'qligi bilan tushintiriladi. Masalan, izotropik galaktikalarni turli yo'nalishlarda bir xilda

sochilishi bilan tasdiqlanadi. Bir jinslilik va izotropiliga kosmologiyada kosmologik prinsp deyiladi.

Oldingi kosmologik tasavvurlar bir jinslilik bilan birgalikda, statiklik yoki o'zgarmaslik prinspidan kelib chiqar edi. Bu tasavvirlarni cheksiz Yevklid fazosiga ekstropolyasiya qilish ma'lum qiyinchiliklarga olib keldi. Bu qiyinchiliklar quyidagi ikkita: fotometrik va gravitatsion parodokslar shaklida ma'lum. Fotometrik parodoks 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'rinishi yorqinligi ungacha bo'lgan masofaga bog'liq bo'lmaganligi sababli, bizga butun koinot bir hilda tekis nurlanuvchi bo'lib ko'rinishi kerak edi. Masalan: Quyosh diskiga o'xshab, yorug'likning yulduzlar orasidagi fazoda yutilishi bu parodoksni bartaraf etolmaydi, chunki nurning yutilishi oxir oqibat nurlanishga almashtiriladi. Uzoq obyektlardan kelayotgan yorug'lik energiyasi qizil tamonga siljishi natijasida kamayishini hisobga olsak, fatometrik parodoks bo'lmaydi. Bundan tashqari, ko'rish mumkin bo'lgan koinot hajmi chekli, koinot ko'rish garizonti orqali chegaralangan bo'lishi mumkin. Ko'rish garizonti deganda, shunday sfera tushiniladi`ki, uning sirtidagi barcha nuqtalari kuzatuvchidan bir hil, yorug'likni, kengayuvchi koinot mavjudligi davomida bosib o'tilgan masofasiga teng masofalarda joylashgan bo'ladi.

Gravitatsion parodoks shundan iborat`ki, muhit bilan bir tekis to'ldirilgan koinotda Nyuton qonunlaridan foydalangan holda, koinotning berilgan nuqtasi uchun gravitatsiya kuchini hisoblash mumkin emas.

Masalan: berilgan nuqtada joylashgan elementar massaga, massani kontsentrik o'rab olgan qatlamlarning ta'sir kuchlarini qo'shish yo'li bilan hisoblasak, nol kelib chiqadi. Agar markazi boshqa nuqtada, r masofada joylashgan kontsentrik qatlamlarni hosil qiluvchi kuchlarni yig`indisi sifatida hisoblansa, ko'rsatish mumkin`ki, radiusi r ga teng bo'lgan sharning yuzida turgan nuqtaning tortish kuchini topamiz.

Gravitatsion parodoks Nyuton qonunlarini cheksiz koinotga tadbqiq etish mumkinmasligidan va ta'sir kuchini tarqalish tezligi Yevklid fazosida cheksizga teng deb olinishidan kelib chiqadi.

Umumiy nisbiylik nazariyasiga asoslangan kosmologik nazariyada gravitatsion parodoks mavjud emas. Umumiy nisbiylik nazariyasining paydo bo'lishi zamonaviy kosmologiya fanining vujudga kelishiga sababchi bo'ldi. Asosiy kosmologik tenglamalar Eynshteyn tamonidan chiqarilgan bo'lib, bunday tenglama statik koinot uchun ham o'rinalidir. Keyinchalik nisbatan umumiyroq hol uchun bunday tenglamalar 1922-yili rus matematigi A.A.Fridman tamonidan yechilgan. Keyinroq aniqlanishicha, Nyuton qonunlariga asoslangan kosmologiyadan ham muhim xulosalar chiqarish mumkin ekan.

§ 1.2. Relyativistik kosmologiya.

Ma'lumki, nisbiylik nazariyasi katta masalalarning mavjudligi fazo va vaqt xususiyatlariga ta'sir ko'rsatishi xulosasiga olib keladi. Bizga ma'lum bo'lgan Yevklid fazosi xususiyatlari katta masalalar oldida o'zgaradi, iborali qilib aytganda, katta masalalar yaqinida fazo egrilanadi. Masalan: fazoning egrilanishi natijasida nur Quyosh yaqinida 2" ga egrilanadi, uni Quyoshning to'la tutilishi vaqtida, Quyosh yaqinidagi yulduzlarning vaziyatini kuzatishda o'lchash mumkin.

Barcha galaktikalar to'dalari gravitatsion ta'sirning yig'indisi bir butun koinotning egrilanishini hosil qilishi mumkin. Qayd qilish lozimki, nisbiylik nazariyasi qonunlari asosida, masalaning ixtiyoriy taqsimlanishida fazo va vaqt xususiyatlarini aniqlash masalasi juda murakkabdir.

Hozirgi zamon relyativistik kosmologiya fani A.A. Fridman ishlaridan boshlangan, u muhitni birjinsli va izotrop deb hisoblab, koinot nostatsionar bo'lishli, u doimo kengayishi yoki siqilishi kerakligini isbotladi. Mos ravishda muhitning o'rtacha zichligi ham o'zgarib turishi kerak. Relyativistik kosmologiyada ham koinotning nostatsionarliligi huddi klassik fizikadagidek, cheksiz kengayuvchi yoki siqilishi bilan almashuvchi harakatdan iboratdir. Relyativistik mexanikada aniqlangan kritik zichlikning qiymati (1.5) formula yordamida aniqlangan qiymatiga to'g'ri keladi. Relyativistik mexanikaning klassik

mexanikadan farqi, undan fazoning egrilanishi kelib chiqishidir. Kritik qiymatga teng o'rtacha zichlikda, kengayishni tezligi cheksiz nolga yaqinlashadi, fazoning egriligi nolga tengdir va Yevklidli geometriya xususiyatlariga egadir. Boshqa barcha hollarda fazoning geometriyasi noyevklididir. 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 almashadi. 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, ammo koinotning 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 yuzining cho'zilishida, uning sathi va undagi figuralar orasidagi masofa oshadi. Bunday sfera cheksiz 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 (1.2), (1.3) formulalar yordamida aniqlanuvchi kattaliklar bilan aniqlanadi.

§ 1.3. Nyuton qonunlariga asoslangan koinotning birjinsli va izotrop modeli.

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

Nyuton qonunlariga asoslangan koinotning birjinsli izotrop modelini ko'rib chiqamiz. Gravitatsion kuchlar koinot masshtabida boshqa hech qanday kuch bilan kompensatsiyalanmaydi va asosiy ro'lni o'ynaydi. Nyuton qonunlari chekli masalalar uchun o'rinli bo'lganligi sababli, biz ko'rib chiqayotgan model

koinotning juda katta, lekin chegaralangan, chekli massaga ega bo'lgan sohasi uchun o'rinalidir. Ma'lumki, bunday massa uning qismlari orasidagi gravitatsion kuch ta'siri ostida siqilishi yoki yetarlicha kinetik energiyaga ega bo'lsa, kengayishi kerak, keyinchalik bunday kengayish gravitatsion kuch ta'siri ostida sekinlashishi bilan almashishi kerak.

Ko'rsatish mumkinki, bunday modelda Xabll qonuni o'rinalidir. Buni ko'rsatish uchun kengayuvchi koinot modelini ko'rib chiqamiz. A va B shunday koinotning ikki nuqtasi bo'lsin, boshlang'ich holatda bu nuqtalar orasidagi masofa r ga teng bo'lib, $\dot{r} = \Delta r / \Delta t$ tezlik bilan bir-biridan uzoqlashayotgan bo'lsin. AB masofani r birlikga teng oraliqlarga bo'lamiz. Koinotning bir jinslilik xususiyatiga ko'ra Δt vaqt oralig'ida har bir interval o'zaro teng $\Delta r / r$ kattalikga oshadi. Shuning uchun, birlik intervalining kengayish tezligi $\frac{1}{r}(\Delta r / \Delta t)$ kattalikga teng bo'ladi. Bu kattalik barcha yo'nalishlarda va hamma joylarda bir hil hamda vaqtga bog'liq bo'lmaganligi uchun uni $H(t)$ bilan belgilab, Xabll formulasini topamiz, bu formulada H $H(t)$ ning hozirgi vaqtdagi qiymatini ifodalaydi. Ma'lumki, bunday holat noustevordir: muhitning massasi o'zining xususiy tortilish maydonida boshqa kuchlar bo'lmaganida, kinetik va potensial energiyalari orasidagi munosabatga bog'liq ravishda kengayishi yoki siqilishi lozim.

Faraz qilamizki, markazi fazoning berilgan istalgan nuqtasida bo'lgan ixtiyoriy sharning radiusi r ga teng bo'lsin. Koinotning izotropilik va birjinslilik xususiyatiga ko'ra shar sirtidagi nuqtalar uning markazidan bir hil tezlik bilan uzoqlashadi, ya'ni sharning radiusi vaqt o'tishi bilan qandaydir vaqt funksiyasi $R(t)$ ga bog'liq ravishda o'zgaradi, shuning uchun quyidagicha yozish mumkin:

$$r(t) = rR(t) \quad (1.1)$$

$R(t)$ ga masshtabli faktor deyiladi.

Masshtabli faktor $R(t)$ ni bilgan holda r ga bog'liqsiz, ikki nuqta orasidagi masofaning vaqtga bog'liq ravishda o'zgarish qonunini topish mumkin bo'ladi.

Radiusi r bo'lgan sfera ichidagi massani m bilan belgilasak, uni zichlik ρ bilan quyidagi formula bilan bog'lash mumkindir:

$$m = \frac{4}{3}\pi\rho r^3 \quad (1.2)$$

Ko'rilayotgan soha chegarasida turgan birlik massa $\vartheta^2/2$ kinetik va Gm/r potensial energiyaga ega bo'lib, energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra, bu energiyaning yig'indisi o'zgarmasdir:

$$\frac{1}{2} \vartheta^2 + \left(-G \frac{m}{r}\right) = E_{total} \quad (1.3)$$

Bunda G -gravitatsion doimiylik.

Agar to'la energiya noldan katta bo'lsa, $E_T > 0$, u holda kengayish tezligi r ning har qanday qiymati uchun nolgacha kamayadi, 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 nolgacha kamayib boradi, keyin kengayish qisilishga almashadi, $\vartheta = 0$ 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. (1.3) formuladan ko'rinib turibdiki, kengayishning tezligi parabolik tezlikga to'g'ri keladi:

$$\vartheta_n = \sqrt{2mG/r} \quad (1.4)$$

Bu formulaga ϑ ning qiymatini Habbli qonunidan, m ning qiymatini esa (1.2) formulani bog'lab quyidagini topamiz:

$$\rho_0 = \frac{3H^2}{8\pi G} \quad (1.5)$$

Bu formuladan ko'rinib turibdiki, ρ_0 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 zichligiga kritik zichlik deyiladi, chunki koinotning kritik zichlik qiymatidan kichik yoki katta bo'lgan o'rtacha qiymatida, yuqorida qayd qilingan kengayuvchi koinot holatlari yuz beradi.

$H=55 \text{ km/(s}\cdot\text{Mps)}$ deb qabul qilib, hozirgi paytda koinot muhiti zichligining kritik qiymati 10^{-29} g/sm^3 ekanligini topamiz. Metagalaktikadagi barcha

masalalarni hisobga olinishi o'rtacha zichlikning haqiqiy qiymatini baxolash imkonini beradi, u kritik qiymat zichligidan kichik bo'lib, 10^{-30} g/sm³ ga tengdir. Lekin bu zichlikning eng pastki chegarasi bo'lsa kerak, chunki metagalaktikaning massasi oxirigacha o'rganilmagan. Agar u katta bo'lsa, kengayuvchi koinot ma'lum vaqtdan keyin siqiluvchan bo'lishini bildiradi.

Koinot muhitining o'rtacha zichligini hisoblashda neytrinolarning tinchlikdagi massasini noldan farqli ekanligini hisobga olish kerak. Oxirgi yillarda olingan natijalarga ko'ra, neytrinoning tinchlikdagi massasi elektronlar massasidan taxminan 20000 marta kichik bo'lib, $6 \cdot 10^{-32}$ gramga tengdir.

Koinotda juda ko'p neytrinolar bo'lishi kerak, asosan relikтли, koinotni boshlang'ich kengayishidan qolgan neytrinolar. Nazariy hisoblashlarning ko'rsatishicha, har bir protonga o'rtacha hisobda milliyard dona neytrino mos kelishi kerak. Agar yuqorida keltirilgan neytrinoning massasi to'g'ri bo'lsa, u holda neytrinolarga to'g'ri keluvchi massa odatdagi muhit massasidan taxminan 30 marta katta bo'lishi kerak. Shunday qilib neytrinolar koinotning asosiy xususiyatlarini belgilayotgan bo'lishi mumkin.

Yuqorida Xabll doimiysini $H=55$ km/(s·Mps) deb qabul qilib, metagalaktikaning yoshini aniqlagan edik. Demak, qadimda koinotning kengayish tezligi o'zgarmas qolgan bo'lsa, kengayuvchi koinotning hozirgi holatiga kelganicha $\sim 10^{10}$ yil o'tgani kelib chiqadi.

O'lchashlar hatoliklari intervali chegarasida ko'pchilik galaktikalar va bizning galaktikamizdagi dastlabki yulduzlarning yoshi ham $\sim 10^{10}$ yilga tengdir. Bu natijalar yulduzlarning spektrlarini, yulduzlar evolyutsiyasini 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 koinotning muhim xususiyatlarini, nostatsionarligini, kengayish yoki siqilish xususiyatlarini hisobladik. Bunday savollarga aniq javob berish uchun fizikaning nisbatan aniq

qonunlari, masalan, umumiy nisbiylik nazariyasidan foydalanish kerak.

§ 1.4. Koinotning issiq modeli.

1965-yili kosmologiya uchun juda muhim bo'lgan, koinotning bir jinslilik va izotroplik xususiyatini tasdiqlovchi yangilik ochilgan. Yerning suniy yoldoshlarda kuzatishga mo'ljallangan asbob yordamida koinotning turli yo'nalishlaridan bir hil intensivlikga ega bo'lgan nurlanish, fonli nurlanish kelayotganligi qayd qilingan.

Hozirgi zamon tajriba natijalariga ko'ra, bu nurlanish foizning bir necha o'n ulushi aniqligida bir jinslidir. Energiyaning spektrida taqsimlanishiga ko'ra, u issiqlik nurlanishi bo'lib, harorati $\sim 3K$ dir. Bunday haroratda nurlanish maksimumi spektrning 1 mm ga teng diapazoniga mos keladi.

Hozirgi paytda koinotda spektrning bunday millimetrli diapazonda o'ta yuqori izotrop xususiyatiga va Plankli spektr xususiyatiga ega bo'lgan nurlanishlarni hosil qiluvchi mumkin bo'lgan obyektlar topilmaganidir. Ana shu asosda 3K haroratli nurlanishni, koinotni qadim zamonlarda o'ta yuqori haroratlarda, muhit noshaqqof bo'lgan paytlarda hosil bo'lgan nurlanishning qoldig'I sifatida talqin etadilar. Vaqt o'tishi bilan muhit kengayishi jarayonida sovib, ionlashgan fazadan neytral fazaga va shaqqof muhitga aylangan. Nurlanish muhit tamonidan boshqa yutilmagan, boshqacha qilib aytganda, muhitdan ajralib hozirgi holatiga kelgan.

Hisoblashlar ko'rsatadiki, muhitning shaqqof muhitga aylanishi uning zichligi 10^{-20} g/sm^3 bo'lganda vujudga kelgan, ya'ni u vaqtlarda muhitning zichligi hozirgisidan milliardlab marta katta bo'lgan. Zichlik masafaning kubiga teskari proparsional ravishda o'zgarganligini hisobga olib, koinotning kengayishini hozirgidek qabul qilib, muhit shaqqoflik davrida koinotda barcha masofalar taxminan 1000 marotaba kichik bo'lganligini topamiz. To'lqin uzunligi ham shuncha marotaba kichik bo'lganligi kelib chiqadi. Shuning uchun hozirgi paytda to'lqin uzunligi 1mm bo'lgan kvantlar vaqtlarida 1 mkm va bundan kichik to'lqin uzunlikga ega bo'lganligi va Plank qonuniga ko'ra harorat 3000-4000K bo'lganligini topamiz.

Galaktikalarning Koinotda taqsimlanishi

Galaktikalarning fazoda taqsimlanishini o'rganish ham yulduzlarning galaktikada taqsimlanishini o'rganishdagi kabi bo'lib, osmonning ma'lum uchastkasidagi (aksariyat 1 kvadrat gradusda) galaktikalar soni N_m deganda, shu uchastkadagi yulduz kattaligi m va undan kichik kattalikdagi galaktikalarning soni anglashiladi.

Agar galaktikalar fazoda bir tekis taqsimlanadi deb faraz qilinsa, yulduzlar statistikasida aniqlanganidek

$$\frac{N_{m+1}}{N_m} \approx 4$$

bo'ladi.

Bu muammo, birinchi marta, 2,5 metrlik reflektorda 1283-uchastkada yulduz kattaliklari 20^m gacha obyektlar tushirilgan fotorasmlarni tahlil qilish orqali, E.Xabbl tamonidan 1934- yilda bajarildi. Xabbl shu yo'l bilan 1 kvadrat gradusli maydonga 20 m gacha ravshanlikdagi 131 galaktika to'g'ri kelishini aniqladi. Butun osmon solbrasiga (u jami 41253 kv. gradusni tashkii qiladi) to'g'ri keladigan galaktikalar soni esa $5,4 \cdot 10^6$ ga teng chiqdi. Dunyodagi eng yirik teleskop yordamida 24 yulduz kattaligigacha obyektlarni (jumladan, galaktikalarni ham) ko'rish mumkinligiga e'tibor qilinsa, unda butun sferada 1,4 milliard galaktikani kuzalish mumkinligi aniqlandi

Xabbl, shuningdek, barcha yo'nalishlar uchun Zeeliger teoremasi o'rinli ekanligini isbotlab, galaktikalarning fazoda taqsimlanishi bir jinsligina bo'lmay, balki izotrop, ya'ni barcha yo'nalishlarda bir xil ekanligini ham aniqladi.

Bu masalani sinchiklab o'rganish 40 kpk dan kichik masofada galaktikalar alohida guruh va to'daga birlashishlarini ko'rsatadi. Bizning Galaktikamiz, Andromeda (M31), Uchburchak yulduz turkumidagi galaktika (M33), Katta va Kichik Magellan bulutlari va boshqa yana bir qancha yulduz sistemalari bilan birgalikda (jami 35 taga yaqin galaktika) mahalliy galaktik to'dani hosil qilishi ma'lum bo'ladi.

Ayni paytda shu hildagi 4000 ga yaqin galaktikalarning mahalliy to'dasi

ma'lum. Bunday to'dalarning o'rtacha diametri 8 Mpk atrofida. Yirik galaktik to'dalardan biri Veronika Sochlari yulduz turkumida proyeksiyalanib, salkam 40000 ga yaqin galaktikani o'z ichiga oladi. U bizdan 70 Mpk masofada joylashib, diametri 12° gacha cho'zilgan. Bizning mahalliy to'damizga eng yaqin galaktik to'da 12 Mpk masofada bo'lib, u Sunbula yulduz turkumiga proyeksiyalanadi. Unda yettita gigant galaktika (ulardan biri «Sunbula A» radiogalaktikasi) va o'nta gigant spiral galaktika kuzatiladi. Bu gigant galaktikalar bir necha mahalliy galaktikalar to'dasini (jumladan, bizning mahalliy to'damizni ham) o'z ichiga olgan o'tagalaktikaning quyulmasi bo'lishi ham mumkin degan taxmin bor. Bunday o'tagalaktikaning diametri 40 Mpk bilan baholanadi. Bugunga kelib astronomlar, quvvatli teleskoplar yordamida, shunga o'xshash, har biri o'nlab mahalliy galaktik to'dani o'z ichiga olgan 50 ga yaqin o'tagalaktikani ro'yxatga olganlar.

Kosmologiya elementlari

Kosmologiya — Koinotni bir butun deb qarab, uning xususiyatlarini va rivojlanishini o'rganadigan fandir.

Kosmologiya maqsadi, Koinotning Metagalaktika deb nom olgan, radiusi 3000 Mpk bilan chegaralangan va bevosita kuzatiladigan fazo qismining nazariyasini yaratishdir.

Ma'lumki, nisbiylik nazariyasiga ko'ra, katta massali obyektlarning mavjudligi fazo va vaqtning xossalriga ta'sir etadi. Bizga tanish bo'lgan Yevklid geometriyasidagi fazoning xususiyatlari (misol uchun uchburchak ichki burchaklarining yig'indisi, parallel chiziqlarning xossalari va boshqalar) katta massali obyektlar yaqinida o'zgaradi, boshqacha aytganda, fazo «egiladi». Alohida osmon jismlari, jumladan, yulduzlar tamonidan vujudga keltirilgan fazoning bu egilishi juda kichik miqdorni tashkil etadi. Xususan yorug'lik nuri Quyosh yaqinidan o'tayotib egiladi va o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Bu effekt Quyosh to'la tutilganda, uning yonida ko'rinadigan yulduzlardan kelayotgan nurlarning yo'nalishini o'rganish bilan tasdiqlangan. Bu o'zgarish, kutilganidek, juda kichik miqdorni tashkil etib, u o'lchash aniqligi chegarasida kuzatildi.

Biroq, barcha galaktikalar va o'tagalaktikalar ulkan massalarining ta'siri,

fazoda sezilarli kattalikdagi egrilikni vujudga keltirib, fazoning xossalariga, binobarin, butun Koinot evolyutsiyasiga sezilarli ta'sir qiladi.

Koinot bo'ylab massaning ixtiyoriy taqsimlanishida nisbiylik nazariyasi asosida fazo va vaqtning xossalarini aniqlash masalasi juda murakkab masalalardan biri bo'lib, uning yechimini topish juda mushkul. Shuning uchun ham mazkur masalani qo'yishdan oldin Koinot tuzilishining ma'lum sxemasini qabul qilishga to'g'ri keladi. Koinotning modeli deb yuritiluvchi bunday sxemalarning eng soddasi quyidagi holatlarga asoslanadi:

- koinotda, katta masshtablarda modda bir tekis taqsimlangan;
- fazoning xossalari hamma yo'nalishlarda bir xil (izotrop). Bunday fazo ma'lum egrilikka ega bo'lib, unga mos model Koinotning bir jinsli izotrop modeli deyiladi.

Koinotning bir jinsli izotrop modeli uchun yaratilgan Eynshteynning tortishish nazariyasiga oid tenglamalari yechimining ko'rsatishicha, uning ayrim bir jinsli bo'lmagan qismlari orasidagi masofa o'zgarmas saqlanib qola olmaydi. Bu degani Koinot yoki siqilishni yoki, aksincha, kengayishni boshidan kechirmog'i lozim degani bo'ladi.

Darvoqie, kuzatishlar ixtiyoriy ikki galaktikaning vaqt o'tishi bilan bir-biridan uzoqlashishini va uzoqlashish tezligi, ular orasidagi masofaning ortishi bilan ortib borishini ma'lum qiladi, boshqacha aytganda, Koinot kengayayotganidan darak beradi. Nisbatan kichik masofalarda bu bog'lanish chiziqli bo'lib, unda proporsionallik koeffitsienti rolini Xabbl doimiysi (H) o'ynaydi. Aytilganlardan ma'lum bo'lishicha, ixtiyoriy ikki ulkan massali osmon jismlari orasidagi masofa vaqtning funksiyasidir. Bunday funksiyaning ko'rinishi, fazo egriligining ishorasiga bog'liq bo'ladi. Agar egrilik manfiy bo'lsa, Koinot doimo kengayishni «boshidan kechiradi». Yevklid fazosiga mos nolinchi egrilikda Koinotning kengayish tezligi nolga intiladi. Va nihoyat, musbat egrilikka ega kengayuvchi Koinot, o'zining ma'lum bosqichida siqilish bilan almashinishi mumkin. Bir jinsli izotrop modelda fazoning egriligi moddaning o'rtacha zichligining miqdoriga bog'liq bo'ladi. Ikkinchi hol (nolinchi egrilik) zichlikning kritik zichlikka teng

miqdorida ro'y beradi. Moddaning kritik zichligi Xabbl doimiysi H va gravitatsion doimiylik G orqali quyidagicha topiladi:

$$\rho_{kr} = \frac{3H^2}{8\pi G},$$

bu yerda $H = 55 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpk})$, $\rho_{kr} = 5,0 \cdot 10^{-30} \text{ g}/\text{sm}^3$.

Galaktikada mavjud barcha obyektlarning massalarini inobatga olganda, Metagalaktikaning o'rtacha zichligining qiymati taxminan $5 \cdot 10^{-31} \text{ g}/\text{sm}^3$ ni tashkil etadi.

Bu yerda galaktikalar orasidagi ko'rinmas muhitning massasi hisobga olinmaganligi tufayli zichlikning aniqlangan bu qiymati asosida real fazo egriligining ishorasi haqida aniq bir narsa deyish qiyin. .

Shuningdek, Koinotning yana ham real modelini «empirik yo'l» bilan tanlash imkoniyatlari mavjud bo'lib, juda uzoqdagi (nurlari bir necha yuz million yoxud milliard yillarda yetib keladigan) obyektlarning spektrlarida qizilga siljishlarini, so'ngra ularga tayanib tezliklarini aniqlash va bu tezliklarni boshqa-boshqa metodlar yordamida aniqlangan ulargacha masofalar bilan solishtirish asosida amalga oshiriladi. Aynan shu usul yordamida Koinotning kengayish tezligining vaqt bo'yicha o'zgarishini kuzatishlar asosida aniqlash mumkin bo'ladi. Biroq hozirgi zamon kuzatishlari fazo egriligining ishorasi haqida ishonch bilan biror narsa deydigan darajada aniqlikka ega emas. Faqat Koinot fazosi egriligi nolga yaqinligini ishonch bilan aytish mumkin.

Bu o'rinda Xabbl doymiysining bir jinsli izotrop Koinot uchun ajoyib xususiyati borligini eslatish o'rinli. Uni anglash uchun bu doimiylikka teskari kattalik ($1/H$) vaqt bilan o'lchanishiga, ya'ni $1/H = 6 \cdot 10^{17} \text{ s}$ yoki 20 mlrd yilligiga e'tiborni qarataylik. Bu qiymat Metagalaktikaning to hozirgi holatiga qadar kengayishi uchun ketgan vaqtni ifodalashini (agar qadimda kengayish tezligi o'zgarmagan deb qaralsa) tushunish qiyin emas. Biroq, shuni ta'kidlash joizki, Koinotning kengayish tezligining, uzoq o'tmishda va hozirda o'zgarmasligi olimlar tamonidan yaxshi o'rganilmagan. Koinot haqiqatan ham bir vaqtlar alohida bir holatda (zichligi, bosimi va temperaturasi kabi fizik parametrlariga ko'ra)

bo'lganligi, 1965-yilda relikt (qoldiq) nurlanish deb ataluvchi kosmik radio-nurlanishning ochilishi bilan tasdiqlandi. Uning spektri issiqlik nurlanishi spektriga mos kelib, Plank egriligini beradi. Bu egrilik asosida aniqlangan uning temperaturasi esa 3 K ga mos keladi (bu nurlanishning maksimumi taxminan 1 mm li to'lqin uzunligiga to'g'ri keladi). Relikt nurlarning xarakterli xususiyati shundaki, u barcha yo'nalishlar bo'yicha bir xil intensivlikga, ya'ni izotrop xossaga ega. Shu tufayli bu nurlanishni alohida bir obyekt yoki sohaning nurlanishi deb qarab bo'lmaydi.

Bunday radionurlanishni «qoldiq nurlanish» deb atalishining boisi, u koinotning katta zichlikga ega bo'lgan (boshqacha aytganda hali o'z nurlanishlari uchun ham tiniqmas) davriga tegishli nurlanishining qoldig'i deb taxmin qilinishidadir.

Hisob-kitoblar u davrda koinotning zichligi $\rho = 10^{-20} \text{ g/sm}^3$ bo'lganini (ya'ni har kub santimetriga -10000 ta atom to'g'ri kelganini) ma'lum qiladi. Boshqacha aytganda zichlik, hozirgi davrdagidan milliard martadan ziyod bo'lganini ko'rsatadi. Zichlik, radiusning kubiga proporsionalligidan, qadimda ham Koinotning kengayishi hozirdagidek tezlik bilan bo'lgan deb faraz qilinsa, u davrda obyektlar orasidagi masofalar hozirgidagidan ming martacha kam bo'lganligi ma'lum bo'ladi. Nurlanishning to'lqin uzunligi 1 mm ham shuncha marta kam bo'lganidan, u davrda kvantlarning to'lqin uzunligi 1 mikron atrofida bo'lib, unga mos temperatura 3000 K ga yaqin bo'lgan, degan xulosaga kelish mumkin.

Bob II. Koinot tuzilishining kosmologik modellari.

§ 2.1. Metagalaktika modellari.

Ko'p yillik ilmiy tadqiqotlar Metagalaktikaning ikkita fundamental, izotrop va birjinsli xususiyatga ega ekanligini ko'rsatadi. Ba'zi hollarda bu xususiyatlar asosiy kosmologik postulatlar deb ham yuritiladi. Galaktikalarning o'zaro harakatida ajoyib manzara hosil bo'ladi, uni amerikalik olim Xabbl 1929 yilda aniqlagan. Uning fikricha barcha galaktikalar bir-biridan uzoqlashadilar. Ular bir-biridan qancha uzoq bo'lsa, uzoqlashish tezligi shuncha katta bo'ladi.

Metagalaktikaning bu xususiyatlaridan Xabbl qonuni kelib chiqadi. Biz bilamizki, bu qonunga ko'ra ikki ixtiyoriy kosmik obyektning bir-biridan uzoqlashish tezligi ϑ ular orasidagi r masofaga proporsionaldir. Proporsionallik koeffisiyenti H ga Xabbl doimiysi deyiladi. Xabbl qonuni matematik tarzda quyidagicha yoziladi:

$$\vartheta = H(t) \cdot r$$

Bu tenglama Metagalaktikaning xarakteristikalarini o'zaro bog'laydi va bir necha quyidagi yechimlar sistemasiga ega bo'ladi [1,2].

$$H = 0; r = \text{const} \quad (1)$$

$$H = \text{const} \neq 0; r = r_0 e^{Ht} (r_0 = \text{const}) \quad (2)$$

$$H = a/t; r = bt^a (a, b = \text{const}) \quad (3)$$

Ushbu yechimlarda r – koinotdagi ikki ixtiyoriy nuqta orasidagi masofa (masshtabli faktor) yoki $r=R_m$ – bo'lsa, R_m – ni Metagalaktikaning radiusi deb olish mumkin.

Birinchi yechim A.Eynshteyn tamonidan amalga oshirilgan bo'lib, u Metagalaktikaning statik modeliga mos keladi. Bu yechimning asosida Metagalaktika barqaror degan fikr yotadi, ya'ni uning barcha kattaliklari: ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi masofasi, o'rtacha zichligi va boshqa xarakteristikalari vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi.

Ikkinchi yechim de-Sitter tamonidan ishlab chiqilgan bo'lib, bu modelga ko'ra koinotda olingan ixtiyoriy ikki obyekt orasidagi masofa eksponensial qonun asosida o'zgaradi, lekin Metagalaktika muhitining zichligi doimiy qoladi.

Uchinchi yechim A.Fridman tamonidan ishlab chiqilgan bo'lib, u Metagalaktikaning beqaror modeliga mos keladi. Bu modelda masshtabli faktor ham, muhit zichligi ham vaqtga bog'liq ravishda o'zgaradi.

Metagalaktikaning rivojlanishini tushuntirishda yuqorida sanab o'tilgan modellardan qaysi biri haqiqatga to'g'ri kelishini kuzatishlar va tajriba natijalari ko'rsatadi.

Metagalaktikaning beqarorligini 1929 yildan boshlab o'tkazilgan tajribalar va kuzatish natijalari ko'rsatdi. Masalan, galaktikalar orasidagi masofaning oshib

borishi, galaktikalar nurlanishi spektridan olingan spektral chiziqlarning qizil tomonga siljishi (qizil tomonga siljish effekti) orqali aniqlanadi. Bu eksperimental natijadan galaktikalar bir-biridan uzoqlashayotganligi, ya'ni masshtabli faktor oshayotganligi kelib chiqadi. Ushbu tajriba natijalari asosan Eynshteynning Metagalaktika to'g'risidagi statistik modelini tajriba natijalari rad etadi.

De-Sitter modeli ham Metagalaktika rivojlanishi to'g'risidagi tasavvurlarga mos kelmaydi. Bu modeldan muhitning odatdan tashqari holat tenglamasi $p = -\varepsilon$ ekanligi kelib chiqadi. Bu yerda p – bosim, ε – materiyaning energiya zichligi. Bunday holat tenglamasi tabiatda mavjud bo'lgan biror muhit formasi, shuningdek nurlanish uchun ham o'rinli emas, lekin nurlanish uchun $p = \varepsilon/3$ holat tenglamasi o'rinlidir. Shuni aytish mumkinki, de-Sitter modeli ham Metagalaktikaning hozirgacha bo'lgan rivojlanishini tushuntirib bera olmaydi.

A.Fridman modelini tasdiqlovchi eksperimental faktlardan biri 1965 yilda aniqlangan relikt (qoldiq) nurlanishining ochilishi hisoblanadi. Bunday nurlanish bilan galaktikaning to'ldirilganligi Fridman nazariyasidan kelib chiqadi. Relikt nurlanishining mavjudligi, uning birjinsli va izotropiysi A.Fridman modeli to'g'riligining isbotidir. Osmonning bu nurdagi yorug'ligi hamma yo'nalishda bir xil intensivlikga ega bo'lib, taxminan 3°K haroratli elektromagnit nurlanishga to'g'ri keladi. Ikkinchi muhim eksperimental fakt Metagalaktikadagi geliy miqdori A.Fridman kosmologiyasi va yadro fizikasining yutuqlariga asosan aniqlangan bo'lib, massa jihatidan 25% ni tashkil qiladi. A.Fridman modelini to'g'riligini tasdiqlovchi uchinchi eksperimental fakt Metagalaktika yoshini aniqlashdir. Fridman modeliga ko'ra Metagalaktikaning yoshi $t \approx 1/H_0$ ga tengdir, bu yerda H_0 – bizning eramizdagi Xabbl doimiysining qiymati bo'lib, $H_0 = 50-100 \text{ km/s} \cdot \text{MPs}$, u holda $t \approx 10-20 \text{ milliard yil}$ ekanligi kelib chiqadi. t –ning bu qiymatini radioaktiv yemirilishlar asosida aniqlangan tajriba natijalari tasdiqlaydi.

A.Fridman modelidan kelib chiqadigan xulosalarni kosmik nurlar fizikasida olingan eksperimental natijalar ham tasdiqlaydi. Aniqlanishicha, koinotdagi muhit kinetik energiyasi zichligi, magnit maydoni energiyasi zichligi va kosmik nurlar energiyasi zichligi taxminan o'zaro teng bo'lib, $10^{-12} \text{ erg/sm}^3$ ni tashkil etadi [3].

Kengayuvchi koinotda harakatning turli formalari orasidagi muvozanatning saqlanishi kosmik nurlar energetik spektrini quyidagi $AE_0^{-\gamma}$ ko'rinishidagi darajali funksiyasi bilan ifodalanishga olib keladi, bu yerda Ye_0 – birlamchi kosmik zarralar energiyasi, γ – doimiy son bo'lib, spektr ko'rsatkichi deyiladi. Kosmik nurlar energetik spektrini keng energiya intervalida tajribada o'lchash natijalari buni tasdiqlaydi.

Shuning uchun aytish mumkinki, A.Fridman modeli Metagalaktika rivojlanishining hozirgacha bo'lgan eralarini tajriba natijalari asosida tushuntirib bera oladi.

Hozirgi zamon nazariy hisoblashlarga ko'ra, tabiatda biz tanish bo'lgan to'rt xil maydondan tashqari beshinchi maydon ham mavjuddir, bu maydonga Xigsning skalyar maydoni deyiladi. Xigsning skalyar maydonida spini nolga teng bo'lgan Xigs zarralari orasidagi o'zaro ta'sir kuzatiladi. Elementar zarralar fizikasi nazariyasiga bunday maydonning kiritilishi, zarralar massasining borligini tushuntirish uchun zarur bo'lgan nazariyaning yaratilishiga olib keldi [4,5]. Ushbu nazariyada zarralar massasining hosil bo'lishini tushuntiruvchi mexanizm Xigs tamonidan ishlab chiqilgan bo'lib, unda elementar zarralar massasi gipotetik skalyar zarralar (Xigs zarralari) o'zaro ta'siri orqali aniqlanadi. Skalyar zarralarning fizik vakuumi quyidagi alohida xususiyatga egadir. Maydonning energiya zichligi qancha katta bo'lsa, u shuncha ko'p zarralarni o'ziga tortadi. Fizik vakuumning bu xususiyati bizning odatdagi tasavvurlarimizga to'g'ri kelmaydi. Masalan gazni qissak uning zichligi va bosimi oshadi hamda gaz fizik vakuumga qarama-qarshi undan yangi zarralarni itarib chiqishga harakat qiladi. Fizik vakuumning ana shu xususiyati vakuumli zarralarning erkin holatda uchramasligini ko'rsatuvchi sabablardan biri hisoblanadi. Fizik vakuum o'zidagi zarralarni erkin holatga qo'yib yubormaydi.

Matematik tilda fizik vakuumning bunday xususiyati yuqorida keltirilgan $P = -\varepsilon$ holat tenglamasi bilan ifodalanadi va u de-Sitter modeli uchun xarakterlidir. Shuning uchun fizik vakuumda Metagalaktikaning de-Sitter modeliga asosan rivojlanishi kuzatiladi, ya'ni Metagalaktika evolyusiyasi boshlang'ich etaplarda de-

Sitter modeliga asosan rivojlanadi. Koinotda fazoviy o'tish yuz bergandan keyin, ya'ni biz bilgan muhit hosil bo'lgandan keyingi Metagalaktikaning rivojlanish etapi A.Fridman modeliga asosan rivojlanadi.

Metagalaktika kengayishining, ya'ni fizik vakuumning de-Sitter modeli bo'yicha rivojlanishdan Fridman modeliga ko'ra rivojlanishga o'tishi grafikda ko'rsatilgan (Rasm - 1).

Xulosa qilib aytganda, Metagalaktikaning kengayishida keltirilgan fazaviy o'tish sxemasi yagona bo'lmasligi mumkin. Shuni ta'kidlash lozimki, Metagalaktikaning boshlang'ich davrlaridan hozirga zamon holatiga kelguncha bir necha fazoviy o'tishlarni boshidan o'tkazgan bo'lishi mumkin. Hozirgi kundagi fizik vakuum va gravitasiya nazariyalari hali Metagalaktikaning boshlang'ich davrlarida unda qanda jarayonlar sodir bo'lganligini aniq ko'rsata oladigan darajadagi nazariyalarga aylanganicha yo'q.

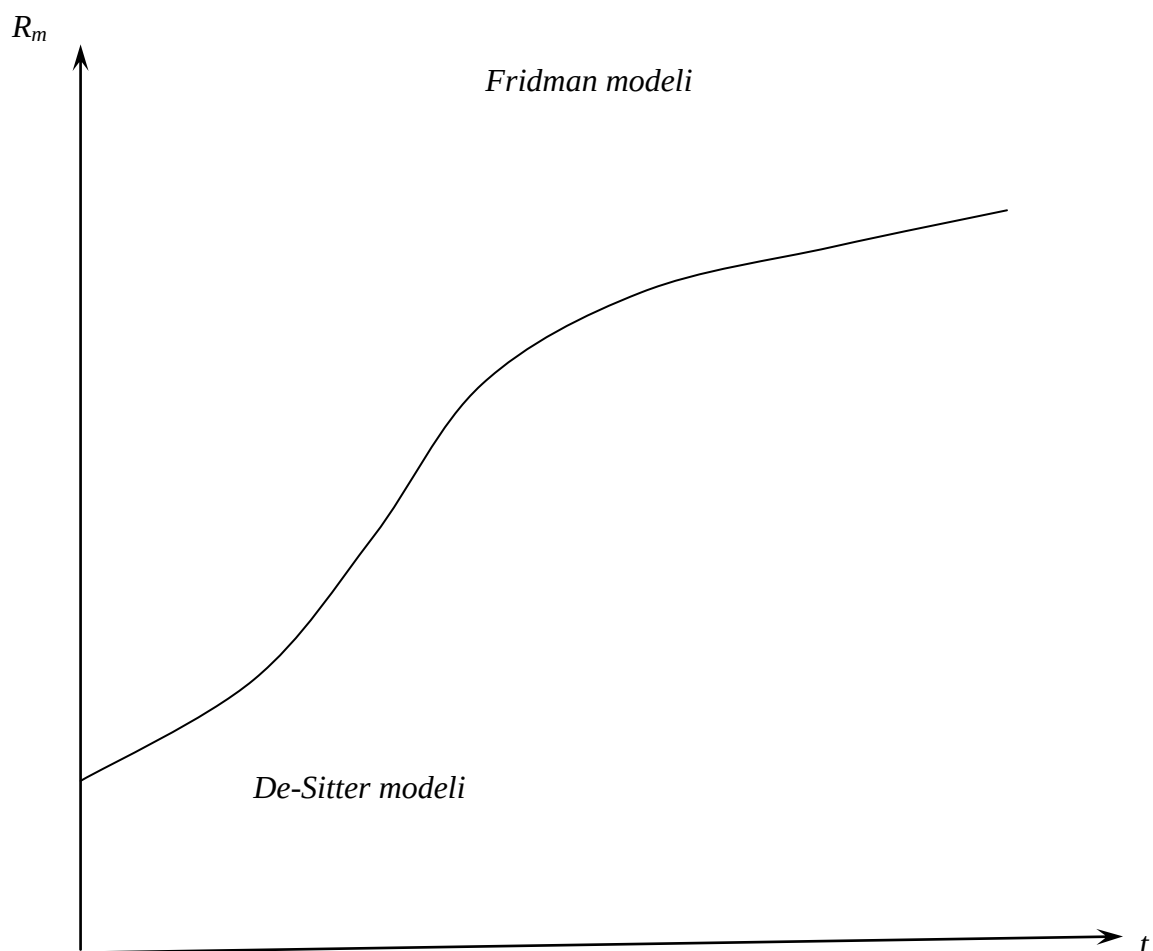


Рис. 1. Metagalaktika kengayishida De-Sitter modeli bo'yicha rivojlanishdan Fridman modeliga ko'ra rivojlanishga o'tish grafigi.

Oxirgi yillarda olib borilgan tatqiqotlarning ko'rsatishicha Metagalaktika xususiyatlarini to'g'ri ifodalovchi yagona kosmologik model ham qiyinchiliklardan holi emas.

Fridman modelini tasdiqlovchi eksperimental faktlarni keltiramiz. Eng birinchi eksperimental fakt sifatida relikt_nurlanishini yechilishini (1965) qayd qilish kerak. Bunday nurlanish bilan koinot to'ldirilganligi Fridman modelidan kelib chiqadi. Relikt nurlanishni mavjudligi, uning bir jinsliligi va izotropligi Fridman modeli to'g'riligini ispotidir. Ikkinchi ilmiy muhim fakt Metagalaktikadagi geliy ulishini tushintirish bo'ldi. Fridman kosmologiyasiga va yadro fizikasining yutuqlariga asosan geliyning ulishi aniqlangan bo'lib, olingan natija eksperimental natijalar asosida tasdiqlandi.

Fridman modelini tasdiqlovchi uchinchi eksperimental fakt Metagalaktika yoshini aniqlashdir. Fridman modeliga ko'ra Metagalaktikaning yoshi $1/H_0$ ga tengdir (H_0 - bizning eramizdagi Xabll doimiysini qiymati). H_0 – ni qiymatini bilgan holda $t \approx 10$ -20 miliard yil ekanligini aniqlaymiz. t – ning bu qiymatini radioaktiv yemrilishlari asosida aniqlangan eksperimental qiymati tasdiqlaydi.

Fridman modelini to'g'riligini tasdiqlovchi to'rtchi eksperimental fakt koinotning barionli assimetria xususiyatini tushintrishdir bu nazaryasi doirasida o'ta og'ir zarra X – bozon bo'lishi kerak. X - bozonning massasi $10^{15} m_p$ ga teng bo'lishi lozim ($m_p=10^{-24}$ gr pratonning massasi). X - bozon quydagi xususiyatlarga ega bo'lishi kerak: X -bozonlar praton va elektronlarga, $\bar{X}$ - bozonlar antiproton va pazitronlarga bo'linishi kerak, va bunda X -bozonlarning proton va elektronlarga bo'linishi extimoliyati, $\bar{X}$ antibozonlarning antiproton va pazitronlarga bo'linishi exyimoliyatidan katta bo'lishi kerak. Anashunda tug'ulish extimoliyatini farqi tabiatning barion-antibarion assimatryasiga olib keladi. X -bozonning yarim yemrilishi bilan boshlanuvchi bunday jarayon juda katta temperatura 10^{28} K da amalga oshadi. Qayd qilish kerak-ki, X - bozonlar paydo bo'lib, barion assilyametryasi vujudga keladigan vaqt juda kichik bo'lib, 10^{-35} sekund tartibidadir.

Qayd qilish kerak-ki, katta birlashuv nazariyasidan (kuchsiz o'zaro ta'sir va elektromagnit nazariyalarini birlashtirishda hosil qilingan nazariya) Metagalaktika barion assimetriyasi kattaligi $\frac{n_p}{n_\gamma}$ – ni topish mumkin. Bunda n_p – tabiatdagi protonlar konsentratsiyasi, n_γ – rentgen nurlanishini fotonlari konsentratsiyasi. Eksperiment ko'rsatishicha bu nisbati qiymati 10^8 - 10^{10} intervalda o'zgaradi nazariyani ko'rsatishicha $10^5 \div 10^{10}$ intervalda o'zgarishi kerak.

Fridman modelidan chiquvchi xulosalarni, kosmik nurlar fizikasida olingan eksperimental natijalar ham tasdiqlaydi. Ko'rsatilishicha, muhit kinetik energiyasini zichligi, magnit maydon energiyasi zichligi va kosmik nurlar energiyasi zichligi taxminan o'zaro teng bo'lib, $\sim 10^{12}$ erg/sm² – ni tashkil etadi. Kengayuvchi koinotda harakatning turli formalari orasida bunday muvozanatni saqlash kosmik nurlar energetik spektrini quydagi AE_0^γ ko'rinishdagi darajali funksiya bilan ifodalanishiga olib keladi. Kosmik nurlar energetik spektrini keng energiya intervalida tajribada o'lchash buni tasdiqlaydi G.T. Zassepin va V.A. Kuzaminlarning ko'rsatishlaricha relikt nurlanishning manjudligi kosmik adronlarning spektrini 10^{20} eV energiyalarda kesilishiga olib keladi energiyasi 10^{20} eV – dan katta bo'lgan kosmik adronlar relikt nurlanishlarni fotonlari bilan to'qnashib, pionlar hosil qilish natijasida bo'lmasligi kerak.

O'tkazilgan tajribalar kosmik nurlar energetik spektri haqiqatdan ham yuqoridan $\sim 10^{20}$ eV energiyalarda kesilganligini tasdiqlaydi. Bundan boshqa galaktikalar ham relikt nurlanish bilan, to'ldirilgan ekanligi kelib chiqadi.

Fridman kosmologiyasida Metagalaktikaning evalyussiyasi bitta parametr Metagalaktikada muhit zichligining o'rtacha qiymati ρ bilann aniqlanadi. Agar $\rho > \rho_k \approx 10^{-29}$ gr/sm³ (bunda ρ_k – kritik zichlik) bo'lsa Metagalaktikaning kengayishi kelgusida uning siqilishi bilan almashadi, bunday modelga yopiq model deyiladi. Chunki Fridman yopiq modelida Metagalaktikaning hajmi hamma vaqt chekli qiymatga ega bo'ladi. $\rho < \rho_k$ bo'lganda Metagalaktika cheklanmagan kengayishga ega bo'ladi va bunda uning hajmi cheksiz bo'ladi. Bunday modelga ochiq model deyiladi.

§ 2.2. Fridman modeli va uning muammolari.

Biz bu yerda Fridman modelining ikkita muammosiga to'xtalamiz.

I. Singulyarlik.

$$R_m = bt^a \quad (3.5)$$

Ko'rinishdagi (3.3) yechimdan $t=0$ bo'lganda Metagalaktikaning radiusi 0 ga teng ekanligi kelib chiqadi. Nolga teng bo'lgan hajmda chekli energiya joylashgan bo'ladi. Bundan esa $t=0$ bo'lganda, energiya zichligi cheksizga teng bo'ishi kelib chiqadi.

Ba'zi kosmologik parametrlar cheksizga teng bo'ladigan koinotning holatiga, uning singulyarlik holati deyiladi.

Singulyarlik holati barcha to'plangan fizikaviy tajribalar natijalariga qarshidir. Chunki Yer sharoitida $\varepsilon \rightarrow \infty$ intilganda muhitning fazoviy o'tishlari yuz berib, lekin singulyarlik holatiga hech qachon erishmaydi. Bunday eksperimental fakti boshlang'ich singulyarlik bilan kelishtirish maqsadida Fridman modelidagi boshlang'ich shartlarni o'zgartirishga urindilar. Masalan, boshlang'ich $t=0$ vaqtda kosmologiyani asosiy pastulatlardan voz kechib Metagalaktikani anizotrop deb olish. Lekin, qo'shimcha bunday pastulatlarning kiritilishi boshlang'ich singulyarlik muammosini hal eta olmadi. Angilyalik astrofiziklar ko'rsatdilar-ki, hatto energodominatlik sharti $\varepsilon + p > 0$ bajarilsa ham, singulyarlik saqlanadi.

Energodominatlik sharti to'la tabiiy bo'lib, laboratoriyada o'rganilgan har qanday muhit formasi uchun bajariladi. Bu shart quyidagi oddiy fakti akslantiradi. Bosimni P -ni oshirish bilan qisilish oshadi (ε —energiya zichligi). Aks holda muhit nomustaxkam bo'lib, turli formadagi fazalarga bo'linib, energodominatlik sharti yana bajarilgan bo'lar edi.

II. Garizont.

Nisbiylik nazariyasiga movofiq hech qanday infarmatsiya yorug'lik tezligiga teng tezlik bilan tarqala olmaydi. Shuning uchun, signal chiqqan t vaqtdan keyin $r < ct$ masofada joylashgan oblastlar o'zaro sababli bog'lanishda bo'ladi.

Buni Metagalaktikaga tatbiq etib aytish mumkin-ki, Metagalaktikani paydo bo'lishida chiqarilgan signal uning $r < ct$ masofada joylashgan qismlarigacha borib yetadi (bunda t -Metagalaktikaning yashash vaqti). Shuning uchun, bu shartga javob beruvchi Metagalaktikaning ikki oblasti bunday sababli bog'lanishda bo'ladi.

ct masofa infarmatsiyani ikki nuqta orasida, masalan Quyosh oblasti va biror galaktika orasida uzatish chegarasi bo'ladi. ct masofaga garizont deyiladi. Umuman olganda garizontning o'lchami va Metagalaktikaning o'lchami o'zaro teng bo'lishi shart emas. Garizont kosmologik ob'ektlarni kuzatishni chegaralaydi, garizontdan tashqarida turgan hech bir ob'ektni hech bir asbob yordamida kuzatib bo'lmaydi.

Garizont o'lchami ikki hil ma'noga ega bo'lgan kattalikdir, chunki Metagalaktika yoshi t bilan aniqlanadigan kattalikdir. Fridman kosmologiyasi chegarasida $u = 1/H$ – ga proporsional bo'lib, ikkinchi tomondan (kattalik tartibiga ko'ra) eski yulduz yoshiga teng bo'ladi. Hozirgi vaqtda hodisalar garizonti taxminan $ct \approx 10^{23}$ km ga teng bo'lib, Metagalaktikaning kuzatilayotgan o'lchamiga mos tushadi. Lekin bunday mos tushish faqatgina hozirgi vaqtda o'rinlidir.

Kelgusidagi tekshiruvlarni tushunish uchun quyidagi masalani keltiramiz. Faraz qilaylik-ki Metagalaktika sekin kengayayapti, shunday sekin kengayayapdi-ki, bunday kengayishni hisobga olmaslik mumkin bo'lsin. Bunday situatsiyani $t' < t$ uchun ko'rib chiqamiz. t' momentda Metagalaktika o'lchamini oldingidek qabul qilish mumkin, garizont esa $ct' < ct$ bo'lganligi sababli Metagalaktika o'lchamlaridan kichik bo'ladi.

(3.1) yechim doirasida Metagalaktikaning o'lchamlari $r = t^a$ darajali funksya kabi o'zgaradi, va $a < 1$ bo'lganligi sababli Metagalaktikaning o'lchamlari t -ga proporsional o'lchanuvchi garizont o'lchamidan sekinroq o'zgaradi. Bundan agar hozir Metagalaktika va garizont o'lchamlari mos kelgan bo'lsa, oldingi vaqtlarda ($t' < t$) garizont o'lchamlari kichik bo'lgan. Demak bundan, bunday model

doirasida Metagalaktika o'zining boshlang'ich kengayishi vaqtlarida bir- biriga sababli bog'lanmagan oblastlarga bo'lingan bo'lgan.

Birinchi qarashda bu holat ayibsiz tuyuladi. Lekin bu juda katta muammoga aylanadi, agar bu fakti relikt nurlanishni butunlay izotroplik xususiyti bilan solishtirsak Metagalaktikaning bir qismi ikkinchi qismi bilan sababli bog'lanmaganligi tufayli, uni shunday tuzish mumkin`ki har bir qismi izotrop (sferik) geometryani tuzsin.

Bu muammoni biroz boshqachroq ham qarash mumkin. Ikkita katta burchak ostida olib borilgan ikkita yo'nalishni olamiz. Bu yo'nalishlarda ko'rinuvchi galaktikalar o'zlarining borligi bilan ilgari sababli o'zaro bog'lanmagan oblastlarga ta'luqli bo'lishi mumkin. Nima uchun har ikki yo'nalishda, bir hil sondagi galaktikalar joylashgan bo'ladi degan savol paydo bo'ladi. Paydo bo'lgan muammolarni hal qilish uchun juda ko'p urinishlar kosmologiya boshlang'ich paytlarida pastulatlarni o'zgartirishlar bo'lgan. Lekin, bu ikki muammo Fridman kosmologiyasiga xos muammodandir.

§ 2.3. Metagalaktika strukturasi va fundamental konstantalari.

Fizik jarayonni analiz qilishni standart metodi, odatda bunday jarayonni ko'p marotaba hosil qilib o'rganishdan iboratdir. Ko'p afsuslar bo'lsin Metagalaktikani laboratoriya sharoitida hosil qilib, o'rganish mumkin emas. Standart metodlar bunday jarayonlarni o'rganishda boshi berk ko'chaga olib kelishiga oxshaydi.

Hozirgi paytda Metagalaktikani tug'ilishini ko'rsatuvchi yagona nazariya ham mavjud emas. Shuning uchun biz bu yerda biroz boshqacha yo'ldan borib, Metagalaktikani boshqacha fizik qonuniyatlarda obrazini yaratamiz. Natijada biz ko'ramiz-ki, uncha katta bo'lmagan o'zgarishlarda Metagalaktika o'zining ko'rinishini to'la o'zgartiradi. Ko'rinishini o'zgartirishi o'zining strukturasi soddalashtirishi yo'nalishida amalga oshadi.

Bunday xulosalarda shunday tushunchalar mavjud`ki, uni aniqlashtirishni talab etadi. Eng avval bu fizik qonuniyatlarni biroz o'zgartirish nimani bildirishi

bilan bog'liq bo'lgan tushunchalar bo'lsa, ikkinchidan Metagalaktika strukturasini soddalashtirishni qanday ma'noda tushinish bilan bog'liq bo'lgan tushunchalardir.

Fizika fani, fizikaviy fazo (Yevklid Minkovski yoki Riman) va fundamental kanstantalar qiymati to'g'risidagi qonunlar (Nyuton Kulon va h.k) majmuasidan iborat bo'lib, ularning to'plami kanonik emas. Biz fundamental kanstantalar to'plamiga to'rtta o'zaro ta'sir kanstantalarini, praton massasini (m_p), neytron massasini (m_n)elektron massasini (m_e) va fizik koinot o'lchami N-ni kiritamiz. Biz juda ko'p elementar zarralar orasidan praton, neytron va elektron massasini olganimiz tasodifiy emas, chunki asosan anashu zarralardan Metagalaktika tashkil topgan.

Endi avval "ozgina o'zgartirish" nimani bildirishini aniqlaymiz. Fizik qonunlarni ozgina o'zgartirilishi aytib bo'lmaydigan natijalarga butun fizika fanini o'zgartirilishiga olib keladi. Bunday revalyutsion o'zgartirilishga fizik fazo strukturasini o'zgartirilishi ham olib keladi. Shuning uchun uncha katta bo'lmagan o'zgartirishda biz fizik qonunlarni va fazo strukturasini o'zgartirmagan holda fundamental kanstantalarni uncha katta bo'lmagan variatsiyalarini tushunamiz.

Endi Metagalaktika strukturasini soddalashtirish tushunchasini ma'nosini aniqlaymiz. Metagalaktika o'ziga to'rtta asosiy strukturalarni oladi: atom yadrolari, atomlar, yulduzlar va galaktikalar. Biz bu yerda Metagalaktikani o'ta katta masshtabli strukturasini kiritmadik, chunki u Metagalaktika tarkibiy qismini tashkil etmaydi, katta masshtabli strukturalar tarkibi galaktikalarni kiritdik. Metagalaktika strukturasini soddalashtirish to'g'risida unda bir yoki bir nechta strukturalarni yo'qolishini tushunish kerak. Metagalaktikada vodorod-absalyut stabil elimentdir. Agar elektronning massasi hozirgi massasidan 3 marta katta bo'lib, 10^{-27} gr bo'lganda hozirgi absalyut aniqlangan fizik hatolar doirasida vodorodning neytron va neytrino hosil qilishi bilan o'tuvchi Kolopsi vujudga kelar edi. Birinchi qarashda uncha katta bo'lmagan o'zgartirish Metagalaktikani katta bo'lmagan o'zgarishiga olib kelar edi. Lekin bunday emas bunday o'zgartirish Metagalaktika strukturasini tanib bo'lmaydigan o'zgarishiga olib kelar edi. Gap shunda-ki Metagalaktika evalyutsiyasi jarayonida vodorod erasi ($t \approx 10^6$ yil) mavjud

bo'lib, bunda galaktikalar va yulduzlar paydo bo'ladi. Neytral vodorodni yo'qligi Metagalaktika tarkibida galaktiklar va yulduzlarni mavjud bo'lmavligiga olib kelar edi.

Endi faraz qilamiz-ki, agar muhit ionlashgan holatda bo'lganda ya'ni faqat proton va elektronlardan tashkil topganda (atomlar bo'lmaganda) muhitning nurlanishi galaktikalar zarodishlarini shiririp ketgan bo'lar edi. Faraz qilaylik vodorod nostabil holatda bo'lganda, vodorod erasi, vodorod neytronlarga va neytrinolarga aylangan bo'lar edi, natijada galaktiklar yagona neytronlardan tashkil topgan bo'lur edi. Demak fundamental konstantalarni biroz o'zgarishi Metagalaktika strukturasi kuchli o'zgarishiga sabab bo'lar edi.

Ikkinchi misolni keltiramiz, Deyton eng sodda atom yadrosi bo'lib, praton va neytronlardan tashkil topgan. Deyton, uning tarkibiga kiruvchi neytronlarning erkin holatda praton, elektron va neytronlarga bo'linishiga qaramasdan, stabil yadrodir. Deytonning tarkibidagi neytron o'zining stabil zarradek tutadi. Deytonning stabilligi energiyaning (massaning) saqlanish qonunidan kelib chiqadi. Gap shunda'ki, praton va neytron Deyton tarkibida bog'langan sistemani bog'lanish energiyasi ϵ_α neytron va praton massalari $\Delta m = m_n - m_p$ farqdan kattadir. Shunday qilib boshlangan holatda neytron bo'linmaydi va Deyton stabil zarradir. Agar Metagalaktika hayotini boshlanishida massa farqi $\Delta m'$ hozirgi zamon massa farqidan 2 marotaba katta bo'lganida Deyton boshlang'ich paytida nostabil zarra bo'lar edi. Deytonning nostabilligi Metagalaktika strukturasi butunlay o'zgartirib yuborar edi. Gap shunda'ki, o'rnatilgan nazariy tasavvirlarga ko'ra murakkab ximyaviy elementlarni hosil bo'lishi (kosmik nukliosintez), albatta Deyton orqali o'tadi. Nukliosintezda stabil Deyton orqali o'tuvchi zveno kerakli zvenodir. Bunday zvenoning bo'lmavligi nukliosintez zanjirlarini o'zgartirib yuborar edi.

Aytilganlardan xulosa qilib, aytish mumkin'ki, Metagalaktikaning barcha oblastlari fazoda va vaqtda o'zaro sababli bog'lanishdadir.

III-BOB. Birlamchi kosmik nurlarning kosmologik aspektlari.

3.1. Birlamchi kosmik nurlar energetik spektrini hususiyatlari.

Kosmik nurlar intensivligining, kosmik zarra energiyasiga bog'liq ravishda o'zgarishiga kosmik nurlar energetik spektri deyiladi. Vaqtning t -birligida, S -yuza birligida, ω - jismoniy burchak birligidan tushayotgan n -zarralar soniga kosmik nurlarning I -intensivligi deyiladi, ya'ni I -intensivlik quyidagi formula asosida hisoblanadi:

$$I = \frac{n}{St\omega} \quad (3.1)$$

Kosmik nurlarda energiyasi 10^{-3} dan 10^{11} GeV gacha ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$) bo'lgan energiyali kosmik zarralar qayd etilgan. Kosmik nurlar energetik spektrini butun energiya diapazonida bitta qurilma yordamida qayd qilish mumkin emas. Kosmik nurlar energetik spektri to'g'risidagi birinchi natijalar kosmik nurlarning geomagnit effektini o'lchash asosida olingan bo'lsa, spektrni 10 dan 10^6 GeV gacha intervali to'g'ri metod yordamida, Yerning suniy yo'ldoshlarida o'rnatilgan ionizatsion kallorimetrlar yordamida qayt qilingandir. Energiyasi 10^6 GeV-dan katta bo'lgan kosmik nurlarni intensivligi nihoyat darajada kichikligi sababli bunday zarralarni spektrini to'g'ri metod yordamida qayd qilish mumkin emas. Energiyasi 10^6 GeV-dan katta bo'lgan zarralarni energetik spektri asosan teskari metod, kosmik zarralarni Yer atmosferasidan o'tish jarayonida, bunday zarralarni Yer atmosferasi muhiti atom va yadrolari bilan ketma-ket yadro va elektromagnit ta'sirlari natijasida hosil bo'lgan ikkilamchi zarralar (keng atmosferasi yog'dusi va uning Cherenkov nurlanishini) oqimini qayt qilish yo'li bilan aniqlangandir. Masalan: [6,7] ishlarda. Olingan eksperimental natijalarga ko'ra spektrning umumiy hususiyatlari aniqlangan bo'lsa ham, bazi detallari haligacha o'rganilmoqda.

Olingan natijalarni ko'rsatishicha 10 dan 10^6 GeV gacha bo'lgan energiyaning intervalida zarralarning integral intensivligi (energiyasi berilgan E

energiyadan katta bo'lgan zarralar intensivligi) energiyaning bitta tartibda o'zgarishida, taxminan 50 marotaba kamayadi.

Olingan bu natijani quyidagi darajali funksiya bilan ifodalash mumkindir.

$$I(E_0)dE_0 = AE_0^{-\gamma}dE_0 \quad (3.2)$$

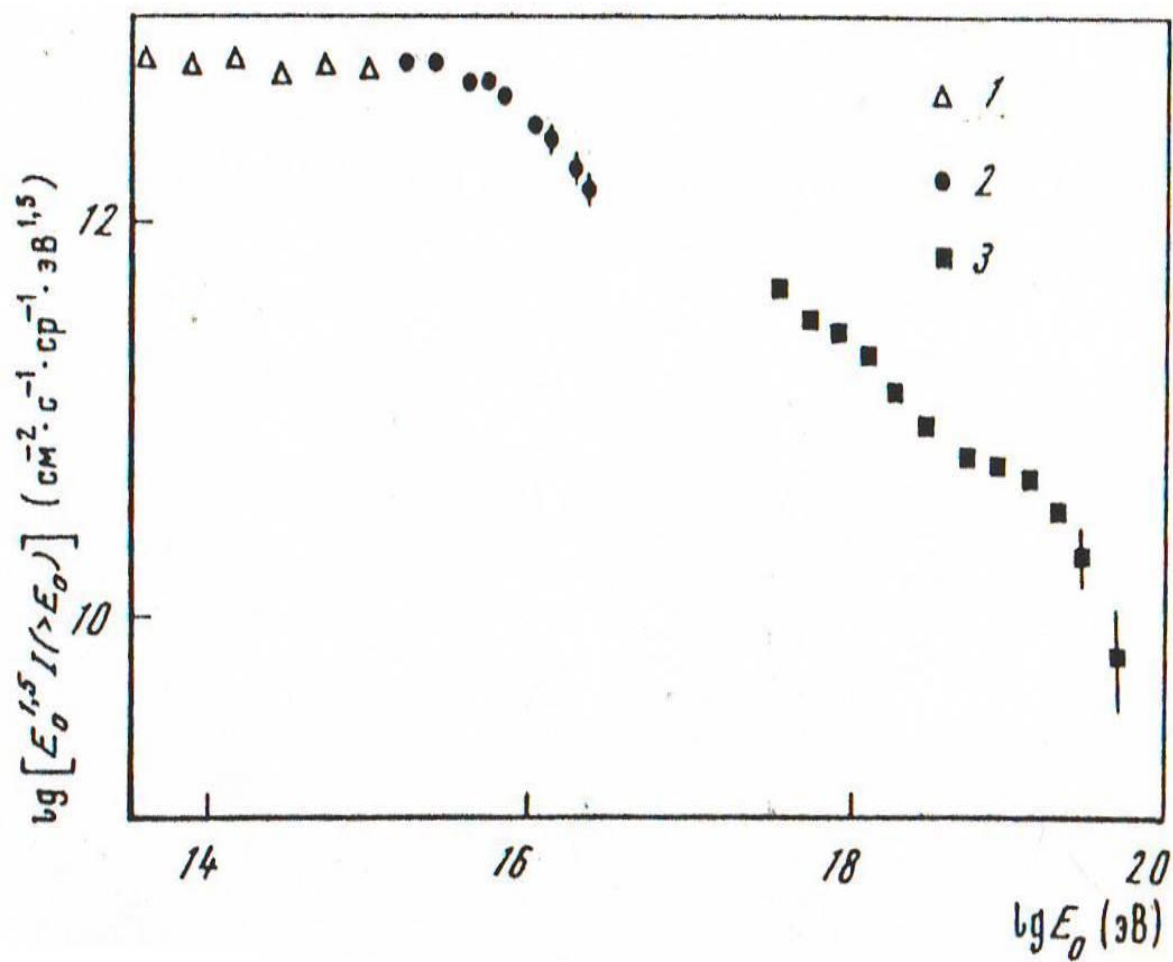
Yuqori energiyaning keng intervalida $\gamma \approx 2.75$. γ - ga kosmik nurlar Energetik spektrining darajasi deyiladi. Demak olingan eksperimental natijalar kosmik nurlar energetik spektri darajali funksiya bilan ifodalanishini ko'rsatadi. (2.6) Demak energetik spektrning diferensiyal ko'rsatishidir, buni hisobga olib integral spektrni quyidagicha yozish mumkindir. [7.15].

$$I(> E) = \int_E^{\infty} AE_0^{-\gamma} dE_0 = \frac{AE^{-\gamma+1}}{(\gamma-1)} (m^2 s sr)^{-1} \quad (3.3)$$

Energetik spektrni maxsus masshtabda tasvirlasak, u $E < 10^6$ GeV energiyagacha gorizantal chiziq shaklida ifodalanadi (rasm. 2), buning uchun ordinata o'qiga

$J(> E)E^{\gamma-1} = \frac{A}{\gamma-1}$ ni qo'yish kerak, bunda $\gamma=2,74$. Turli ishlarda spektr ko'rsatgichi uchun turlicha qiymatlar olingan, shuning uchun spektrni gorizantal to'g'rilashda $\gamma=2,5$ olingan.

Ikkinchi rasmda Samarqandda, Yakutskda, Rossiya Cherenkov nurlanishini qayd qilish usuli yordamida olingan spektr ko'rsatilgandir.



2-rasm. 10^{15} - 10^{20} eV energiya intervalidagi kosmik nurlarning energetik spektri.

[9]-proton-4, SamDU-[6], Yakutsk-[7]

Rasmdan ko`rinib turibdi`ki spektrning qiyaligi ya`ni  $\gamma$  ko`rsatgichining qiymati $\sim 3 \cdot 10^{15}$ eV va $3 \cdot 10^{17}$ eV energiyalarda o`zgaradi va spektr yuqoridan  $\sim 10^{11}$  eV energiyalarda kesilgandir. Ya`ni energiyasi $\sim 10^{11}$ eV dan katta bo`lgan zarralar qayt etilmagan.

Kosmik nurlarni paydo bo`lish va koinotda tezlashib tarqalish qonuniyatlarini bilish muhim kosmologik muammo bo`lib hisoblanadi. Bu muammoni hal etilishi kosmik nurlar energetik spektrini qayd qilishiga asoslangandir. Kosmik nurlar paydo bo`lish nazariyasi hali paydo bo`lmagan bo`lib bu muammo to`g`risida turli hil modellar mavjuddir. Bunday modellarni tanlashda kosmik nurlar spektrini darajali formasi tasodifiy emasmi degan savolga javob berish katta o`rin tutadi. Yuqorida qayd etgan edik`ki 1 dan 10^6 GeV energiya intervalida kosmik adronlar va elektronlarning spektrini darajasi 2,7 ga tengdir ($\gamma \approx 2,7$).

Boshqa galaktikalarda spektr formasini tekshirilishi bunday savolga javob berar edi. Bunday fantastik savolga radioastronomiya javob bermoqchi. Ko`rsatilishicha koinotdan, galaktikalardan kelayotgan radioto`lqinlar elektronlarni sinxrotron tormozli nurlanishga taolluqlidir. Shuning uchun radioto`lqinlar  $J(\nu)$  spektrini bunday nurlanishni hosil qilgan elektronlar spektriga bog`lash mumkindir. Agar elektronlar spektri γ darajali funksiya bilan ifodalansa [9.10] ishdagi nazariy hisoblashlarga ko`ra radionurlanish spektri  $J(\nu) \sim \nu^{-\alpha}$  ko`rinishida ega bo`lishi kerak, bunda  $\alpha = (\gamma - 1)/2$ . turli radiogalaktikalardan kelayotgan radionurlanishlarni spektirini tekshirilishi, bunday spektrlarni o`zaro o`xshashligini va ularning indeksleri ko`p hollarda 0.6-1.2 intervalda joylashishini ko`rsatdi, bundan $2,2 < \gamma < 3,4$ ekanligi kelib chiqadi.

Spektral indekslar taxminiy o`zgarmasligi (ularning taqsimlanganligi ham sinxrotron mexanizm asosida tushuntiriladi) va galaktikalarning evolyutsiyasiga bog`liq bo`lishi mumkin. [9.10] Spektrlarning  $\gamma = 2,7$  ko`rsatgich bilan bog`liq kosmik nurlarning umumiy hususiyati ifodasi bo`lishi mumkin degan fikrga olib keladi.

Faraz qilamiz`ki bunday umumiy hususiyat galaktik materiya uch hil komponentasini energiya zichligini tenglashtiruvchi hususiyat bo`lsin:

$$\omega_c = \omega_G = H^2 / 8\pi = \rho v^2 / 2 = nkT \sim 10^{-12} \text{ erg / sm}^2 \quad (3.4)$$

Bunda, ω_T - muhit kinetik energiyasi zichligi, ω_G -magnit maydon energiyasi zichligi, ω_c -kosmik nurlar energiyasi zichligi, H -kosmik magnit maydon kuchlanganligi, ρ -muhit zichligi, v -tezlik, n -gaz konsentratsiyasi, k -Boltsman doimiysi, (2.8) munosabatini tajriba tasdiqlaydi.

U holda kosmik nurlarning to'la energiyasini quyidagicha ifodalash mumkin.

$$W_c \approx \beta W_{to'la}$$

W_c -koinotda mavjud bo'lgan barcha energiya formalarini yig'indisiga teng bo'lgan to'la energiya βW_t -energiyaning kosmik energiyasiga to'g'ri keluvchi ulushi. Muvozanatlilikni saqlash uchun turli formadagi harakatlar orasida energiya almashinuvi biror mexanizm yordamida kosmik nurlar energiyasini o'zgarishiga olib keladi.

Faraz qilamiz'ki kosmik zarralar soni N_0 , energiyasi ε -ga teng bo'lsin, u holda

$$dW_{to'la} = d\left(\frac{\varepsilon N_0}{\beta}\right) \frac{\varepsilon}{\beta} dN_0 \quad (3.5)$$

ekanligini topamiz. Shunday qilib kosmik nurlarning energetik spektri darajali funksiya bilan ifodalanishi, bu kosmik nurlarni galaktikadan tashqari modellarini tasdiqlaydi. Galaktikadan tashqari modellarga ko'ra kichik energiyali kosmik nurlar galaktikamizda paydo bo'lgan bo'lsa yuqori energiyali kosmik zarralar esa galaktikadan tashqarida paydo bo'lgan. Shuning uchun energetik spektrni yuqori qismini tekshirilishi astrofizika uchun (kosmik nurlarni paydo bo'lishi va kosmik fazoda tarqalishi muammosini hal etishda), kosmologiya uchun (bir butun koinotni paydo bo'lishi va kelgusi taqdiri muammosini hal etishda) muhim ro'l o'ynaydi.

3.2.Relektli nurlanish va kosmik nurlar spektrining yuqori chegarasi.

Koinot turli to'liq uzunlikli elektromagnit nurlanish bilan to'ldirilganligini yuqorida ko'rdik, bu nurlanishlar kosmik nurlarning tarqalishiga o'z ta'sirini ko'rsatishi aniq. Bunday nurlanishlarning ichidan to'liq uzunligi bir necha o'n

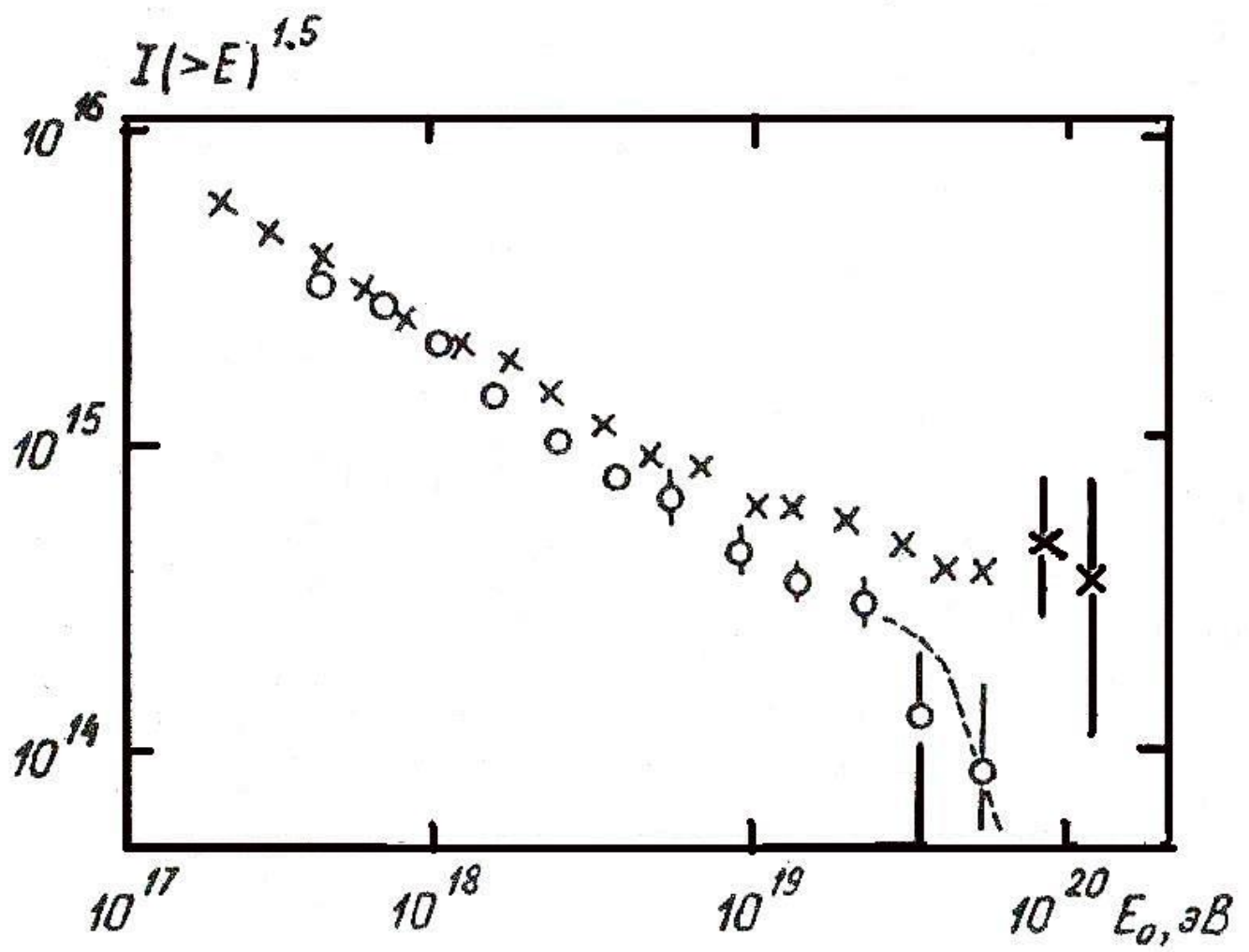
santimetrndan, millimetrning ulushicha bo'lgan relikt nurlanishlar asosiy ro'lni o'ynaydi [6.7.11]. Bir-birlaridan habarsiz Greyzen hamda G.T. Zazepin bilan V.A.Kuz'min yuqori energiyali kosmik adronlar protonlarni reliktli nurlanish fatonlari bilan o'zaro to'qnashib pionlar hosil qilishi natijasida, kosmik nurlarning energetik spektri yuqoridan $\sim 10^{10}$ GeV energiyalarida kesishishi mumkin degan g'oyani ilgari surdilar. Kosmik proton tinch bo'lgan sanoq sistemasiga o'tsak, bu sistemada fatonning energiyasi quyidagi formula bilan topiladi.

$$\varepsilon_{\gamma} = \gamma \varepsilon_{\gamma}^0 (1 - \beta \cos \theta) \approx (1 \div 2) \gamma \varepsilon_{\gamma}^0 \quad (3.6)$$

Bunda ε_{γ}^0 -fatonning kuzatuvchi bilan bog'liq bo'lgan sistemadagi energiyasi, α va β protonning Lorens faktori va tezligi, θ -proton va faton harakat yo'nalishi orasidagi burchak. (2.10) formulaga pionlarni, fatonlarni hosil qilishi energiya bo'sag'asi $\varepsilon_{\min} \approx 145$ MeV ni qo'yib, protonlarni lorens faktorini shunday qiymatini topamiz ki shundan boshlab pionlarni faton hosil qilishi vujudga keladi.

$$\gamma_{\min} = \varepsilon_{\min} / 2\varepsilon_{\gamma}^0 \approx (0.07 / \varepsilon_{\gamma}^0) \text{ GeV} \quad (3.7)$$

Reliktli nurlanish fatonlarini 10^{12} gs chastotalarga mos keluvchi energiyasini maksimal qiymatida ($\varepsilon_{\gamma}^0 = 4,1 \cdot 10^{-3}$ eV), $\gamma_{\min} \approx 1.75 \cdot 10^{10}$ va $E_p = m_p \gamma_{\min} = 1.5 \cdot 10^{10}$ GeV. Shunday qilib birlamchi kosmik nurlarning 10^{10} GeV energiyasidan boshlab, pionlarni fatonlar hosil qilish hisobidan, protonlarni yutilishi vujudga kelib, kosmik nurlar energetik spektri yuqoridan 10^{10} GeV energiyalarda kesilishi kerak. Ya'ni energiyasi 10^{10} GeV dan katta bo'lgan kosmik adronlar mavjud bo'lmasligi kerak.



3-rasm. Kosmik nurlarning 10^{17} - 10^{20} eV energiya intervalidagi energetik spektri.

○-[16]-Cherenkov nurlanishi bilan qayt etilgan spektr. ◊-[17]-ishda olingan spektr, punktir chiziq bilan spektrning relik kesilishi ko`rsatilgan.

Yuqorida qayd etilganidek o'ta yuqori energiyali kosmik nurlarning manbai bizning galaktikamizdan tashqaridagi galaktikalarda joylashganligi, kosmik nurlarning energetik spektri yuqoridan kesilganligi, (2 va 3-chi rasmlar) bizning galaktikamizdek boshqa galaktikalar ham reliktli nurlanish bilan to'ldirilganligining xarakterli xususiyati katta ekanligini ko'rsatadi. Bizning galaktikamiz bilan birgalikda boshqa galaktikalarning ham reliktli nurlanish bilan to'ldirilganligi galaktikalar, koinot portlash natijasida paydo bo'lganligini ko'rsatuvchi eksperimental dalildir. Hukm qilib aytish mumkin ki butun koinot portlash natijasida paydo bo'lgan. Kosmik nurlar energetik spektrini $\sim 10^9 \div 10^{10}$ GeV energiyalarda kesilishi buni tasdiqlaydi.

Bob IV. KOSMOGONIYA VA KOSMOLOGIYA MASALALARI

§ 4.1. Kuzatish natijalari va masalalari

Kursning oxirgi, yakunlovchi bu bobida biz Koinotning umumiy tarkibi va tuzilishi, rivojlanishiga nazariy qarashlarni bayon etamiz. Bunday qarashlar umumfizik qonunlarga, birinchi navbatda, tortishish qonuniga asoslangan. Metagalaktikada kuzatilayotgan jarayonlarni, galaktikalar, yulduzlar va boshqa osmon jismlarining hosil bo'lishi, rivojlanish bosqichlarini umumfizik qonuniyatlar asosida tushuntirishga to'xtalamiz, va bu sohada muammolarga e'tibor qaratamiz. Avvalo bunday nazariy qarashlar qanday kuzatish natijalariga asoslanganligini ko'rib chiqaylik.

Koinotning bizga ko'rinadigan qismi Metagalaktika deb ataladi. Metagalaktika milliardlab galaktikalar, kvazarlardan tarkib topgan. Hozirgi zamon kuzatish vositalari yordamida qayd qilingan eng uzoq obyekt (kvazar) larning masofasi Metagalaktikaning radiusi deb qabul qilingan va u 4000 Mps (megaparsek) dan biroz ko'proq. Bu o'lcham Xabbl qonuniga galaktikalarning qochish tezligi o'rniga kvazarlar tezligi (270000 km/s) ni va Xabbl doyimiyasi o'rniga $H=73 \text{ km/s} \cdot \text{Mps}$ ni qo'yib topilgan. Metagalaktikadagi obyektlar har xil yo'nalishlar va masofalar bo'yicha o'rtacha olinganda bir tekis joylashgan. O'rtacha bir jinsli deganda biz Metagalaktikaning katta o'lchamli (1000 Mps) tuzilishini

nazarda tutmoqdamiz. Yuqorida ko'rganimizdek, kichik o'lchamli (100 Mps) qismlarida Metagalaktika bir jinsli emas, unda galaktikalar guruhlari, to'dalari, o'ta katta to'dalar kuzatiladi. Metagalaktikaning katta o'lchamlarda bir jinsliliigi undan tashqarida ham o'rinli bo'lsa kerak, deb faraz qilish mumkin. Shunday qilib, butun koinot (ya'ni Metagalaktika va undan tashqaridagi koinot qismi) da materiya izotrop va bir jinsli taqsimlangan deb qarash mumkin.

Har xil uzoqlikda joylashgan koinot obyektlaridan kelayotgan va qayd qilinayotgan nurlanish ulardan turli vaqtlarda sochilgan. Yorug'likning tarqalish tezligi fundamental fizik doyimiyligini hisobga olsak, uzoqda joylashgan kvazar (kvazag) lardan kelayotgan nurlanish fatonlari yaqindagi galaktika (Andromeda tumanligi) dan kelayotganlarga qaraganda ancha (10 mid yil) oldin sochilgan (yo'lga chiqqan). Metagalaktikada uzoqlik bo'yicha obyektlar (galaktikalar) ning taqsimlanishidagi bir jinslilik ular hosil bo'lish vaqti bo'yicha uzluksiz ketma-ketlikni hosil qiladi, degan xulosaga olib keladi. Agar endi Metagalaktikada kuzatilayotgan zamonaviy bir jinslilik undan tashqarida ham o'rinli deb faraz qilsak, koinotning fazoviy (makoniy) bir jinsliliigi uning zamoniy bir jinsliliigi bilan uyg'unlashgan, degan xulosaga kelimiz. Galaktikalar, kvazarlar va kvazaglar spektrida chiziqlarning qizilga siljishi ularning bizdan uzoqlashishi bilan tushuntiriladi. Obyekt bizdan qancha uzoqda bo'lsa, uzoqlashish tezligi shuncha katta. Metagalaktika kengaymoqda, kengayish tezligi Xabbl qonuni

$$g = H \cdot r$$

bilan ifodalanadi. Metagalaktikani tashqi chegarasi yaqinida kengayish tezligi yorug'lik tezligiga yaqinlashadi. Agar bu qonuniyat Metagalaktikadan tashqarida ham o'rinli deb hisoblasak, u holda koinot makon va zamon bo'yicha bir jinsli. Butun koinot hozirgi zamonda kengaymoqda. Demak, u o'tgan zamonlarda hozirgiga qaraganda zichroq va qaynoqroq bo'lgan va uzoq o'tmishda (10 mild yil oldin) esa zichlik va temperatura juda yuqori bo'lgan.

Metagalaktikada kuzatilayotgan obyektlar va jarayonlar butun olam tortishish qonuni (umumiy nisbiylik nazariyasi) ga bo'ysinadi. Bu qonunni uzoq o'tmishdagi o'ta yuqori zichlik ($10^{93} g/sm^3$) va temperaturadagi (1032 K) koinotga tatbiq etib

bo'ladimi, yo'qmi bu muammo bo'lib qolmoqda. Koinotning rivojlanish masalalari va muammolari bilan kosmologiya shug'ullanadi. Bu masalalarga keyinroq qaytamiz.

1) Kosmogoniya masalalari. Tabiatda har bir jarayon va obyektning hosil bo'lish, rivojlanish va oxirati bo'lgani singari galaktikalar, yulduzlar va boshqa kosmik obyektlar ham shunday bosqichlarni o'tishlari kerak. Galaktikalar koinot rivojlanishining, yulduzlar esa galaktikalar evolyutsiyasining maxsulidir, chunki galaktikalar yulduzlardan, Metagalaktika esa galaktikalardan tarkib topgan.

Galaktikalarning uch turi mavjud: elliptik, spiral va noto'g'ri galaktikalar. Noto'g'ri galaktikalar nisbatan qaynoq va demak, yoshroq yulduzlardan tarkib topgan; elliptik galaktikalar esa aksincha nisbatan past temperaturadagi yulduzlardan tarkib topgan; spiral galaktikalar oraliq o'rin egallaydi. Qaynoq va yosh yulduzlar Galaktika tekisligi yaqinida, gaz+chang tumanliklar ichida kuzatiladi. Yosh yulduzlar nostatsionar bo'lib, ular ana shu tumanliklardan hosil bo'lganligini isbotlovchi ko'pgina kuzatish natijalari bor. Ko'rinishdan yulduz va Galaktikalarning hosil bo'lishi va rivojlanishida umumiy qonuniyatlar bo'lishi kerak. Agar yulduzlar gaz va changdan hosil bo'lgan bo'lsa, galaktikalar ham o'z navbatida ulkan gaz+chang bulutlardan hosil bo'lgan. Dastavval Quyosh atrofida sayyoralarning hosil bo'lish muammolari bilan shug'ullangan kosmogoniya XX asrdan boshlab yulduzlar evolyutsiyasi masalalarini ham o'z ichiga oldi. Haqiqatdan sayyoralar Quyosh bilan birgalikda, yulduzlar esa o'z atrofidagi sayyoralar bilan birgalikda hosil bo'lgan. Demak, sayyoralarning hosil bo'lish jarayonini yulduz evolyutsiyasi bilan birgalikda ko'rish maqsadga muvofiqdir. Shunday qilib, hozirgi zamon kosmogoniyasi yulduzlar va ular atrofida sayyoralar tizimi va karrali yulduzlar tizimlari hosil bo'lishi mexanizmlarini nazariy ravishda ko'radi va kuzatishdan olingan natijalarga va umumfizik qonunlarga asoslanadi.

§ 4.2. Nostatsionar koinot va masshtab faktori

Yuqorida keltirilgan dalillardan ko'rinib turibdiki, yulduzlar va galaktikalar orasida nostatsionarlari mavjud, qolganlari statsionar bo'lsalarda (masalan: Bizning Galaktika va Quyosh), uzluksiz ravishda modda va energiya oqimi chiqib turadi.

Chaqnovchi yulduzlar va aktiv yadroli galaktikalar esa vaqti-vaqti bilan fazoga katta miqdorda modda otib turadi.

Galaktikalar o'zagidagi kuzatilayotgan modda oqimini, shuningdek, Metagalaktikaning kengayishini XX asrning buyuk astronomi V.A.Ambar-sumyan koinotda o'ta zich materiya manbalari borligi va ular o'zlaridan uzluksiz modda sochishi bilan tushuntirgan. Yulduzlar va galaktikalar hosil qiladigan chang+gaz modda ana shu o'ta zich materiyadan hosil bo'ladi. Ambarsumyan nazariyasi ham galaktikalar nostatsionar obyektlar ekanligini ta'kidlaydi. Metagalaktika ham o'z navbatida nostatsionardir, chunki uni tashkil etgan galaktikalar, kvazar (kvazag) lar bir-birlaridan qochmoqdalar.

Agar endi Metagalaktika tashqarisidagi obyektlar ham shunday xususiyatga ega deb faraz qilsak, butun koinot nostatsionar ekan degan xulosaga kelamiz. Butun koinotning tashkil etuvchilari bir-biridan uzoqlashmoqda deganda, biz ularni o'z ichiga olgan fazo kengaymoqda degan xulosaga kelamiz. Haqiqatdan ham kengayayotgan ideal gazda atomlar va molekulalar bir-birlaridan qochmaydi, balki bosim kuchi ta'sirida gazning hajmi kattalashadi. Koinotning kengayish tezligini masofaga bog'liq ravishda ortib borishini ham koinotdagi fazo kengaymoqda deyish oson tushuniladi.

Adiabatik kengayayotgan ideal gazdagi ikkita molekulani bir-biridan «uzoqlashish» tezligi ular orasidagi masofa o'zgarishining vaqtga nisbatiga teng. Molekulalar bir-birlaridan qancha uzoqda bo'lsa, ular orasidagi masofaning ortish miqdori shuncha katta bo'ladi, demak uzoqlashish tezligi shuncha katta bo'ladi yoki havo shari olib uni shishira boshlasak, shar sirtiga siyoh bilan qo'yilgan ikki nuqta bir-biridan uzoqlasha boshlaydi, uzoqlashish tezligi nuqtalar orasidagi masofaga bog'liq, masofa qancha katta bo'lsa, tezlik ham shuncha katta bo'ladi.

Koinotning kengayishini masshtab faktori $R(t)$ ning o'zgarishi bilan ifodalash mumkin. Hozirgi paytda ikkita galaktika orasidagi masofa r_0 bo'lsa, u biror ixtiyoriy t vaqt momentida $r(t) = R(t)r_0$ bo'ladi, ya'ni $t=t_0$ bo'lganda

$$R(t_0) = 1 \text{ va } r = r_0.$$

bo`ladi.

Endi $r(t)$ ni vaqt bo'yicha o'zgarishini ko'raylik. t dan $t + dt$ gacha bo'lgan vaqt oralig'ida masofaning o'zgarishi quyidagicha bo`ladi:

$$dr = r(t + dt) - r(t) = r_0(R(t+dt) - R(t)) = r_0 dR.$$

Bu yerda, dR — masshtabning dt vaqt ichida o'zgarishi. Agar endi orttirmalarni dt ga bo'lsak va $r_0 = \frac{r(t)}{R(t)}$ ni hisobga olsak quyidagicha bo`ladi:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{dR}{dt} \frac{r(t)}{R(t)} \text{ yoki } v = \frac{dR}{dt} \frac{r}{R} \quad (4,1)$$

Tezlik (v) uchun topilgan bu formulani Xabll formulasi bilan solishtirsak $H = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt}$ ekanligini topamiz. Ya'ni har bir vaqt momentida Xabll doimiy (H) si koinotning barcha kuzatilayotgan nuqtalarida bir xil bo`ladi. t — kosmologik vaqt deb ataladi. Koinot modelini tuzish $R(t)$ ning har xil kosmologik vaqt momentlari uchun qiymatini topish demakdir. Bu masalani yechish uchun biror vaqt momentida barcha nuqtalari va yo'nalishlarida Koinotning xossalari va $R(t)$ bir xil deb faraz qilinadi. Bu Koinotning bir jinsli va izotropligini ifodalaydi.

§ 4.3. Kritik zichlik

Koinitning kengayish xususiyati undagi o'rtacha modda zichligiga bog'liqligini va ρ zichlikli bir jinsli bulutning uning ichidagi markazidan r masofada joylashgan m massali sinov zarraga ta'sir etayotgan kuchlarni ko'rib chiqaylik. Zarraga ta'sir etayotgan tortishish kuchi, r radiusli sfera ichidagi massa

$$m_p = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho \quad (4,2)$$

ga bog'liq. Faraz qilaylik, zarra v tezlik bilan harakat qilmoqda va r_0 uzoqlikda u v_0 tezlikga ega bo'lgan. Harakat davomida zarraning kinetik $E_k = \frac{mv^2}{2}$ va potensial $E_p = -\frac{Gm}{r}$ energiyalari yig'indisidan iborat bo'lgan to'la energiya o'zgarmaydi va bir birlik massa uchun

$$\frac{E}{m} = \frac{v^2}{2} - \frac{G}{r} = \frac{v_0^2}{2} - \frac{G}{r_0} = \text{const}$$

yoki

$$v^2 = \frac{2GM}{r} + 2E. \quad (4,3)$$

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho r^2 + 2E \quad (4,4)$$

Agar $E_k > E_p$ bo'lsa, zarra bulutni tark etadi va undan cheksiz uzoqqacha uzoqlashadi. Aks holda, agar $E < 0$ bo'lsa $r_m = \frac{G}{|E|}$ uzoqlikda zarraning tezligi nolga teng bo'ladi.

Koinotda barcha nuqtalar bir xil maqomga ega va u biror ajratilgan markazga ega emas. Biz galaktikalarning uzoqlashish tezligini bizning Galaktikamizga nisbatan o'lchaganimiz va Xabbl doymiysi H ni ularga asoslanib topganmiz. Shuning uchun Galaktika atrofida r — radiusli sferik sirtlar bor deb faraz qilamiz va bizdan r masofadagi «sinov zarrachasi» — galaktikani harakati qanday bo'lishini ko'rmoqchimiz. Xabbl qonuniga asosan bu galaktika bizdan $v = H \cdot r$ tezlik bilan uzoqlashmoqda. Agar yuqoridagi (4) formulaga tezlik o'rniga uning bu ifodasini qo'ysak, quyidagi munosabatni olamiz:

$$\frac{8\pi G}{3} \left(\frac{3H^2}{8\pi G} - \rho \right) r^2 = 2E \quad (4,5)$$

Bu yerda: ρ — r radiusli sfera ichida o'rtacha modda zichligi, u sfera ichidagi galaktikalar va ular orasidagi tarqoq modda massalari yig'indisini sfera hajmiga nisbati bilan topilgan. (4.5) formulaning chap tomonidagi qavs ichida zichliklar ayirmasi keltirilgan va undagi $\rho_{kp} = \frac{3H^2}{8\pi G}$, bu yerda kritik zichlik deb olib, (5) formulaga qo'yamiz:

$$\frac{8\pi G}{3} (\rho_{kr} - \rho) r^2 = 2E. \quad (4,6)$$

Agar r radiusli sfera ichida o'rtacha modda zichligi kritik zichlikdan kichik ($\rho < \rho_{kr}$) bo'lsa, u holda to'la energiya $E > 0$ bo'ladi va galaktika (zarra) ning harakati cheklanmagan ozod holda davom etaveradi va u cheksizlikgacha uzoqlashishi mumkin.

§ 4.4. To'g'ri modelni tanlash qiyinchiliklari

Kosmologik nuqtai nazardan muhim bo'lgan bir necha muhim kattaliklar bevosita kuzatishlardan aniqlanadi; bular galaktikalar, kvazarlar va kvazaglarning ko'rinma yulduziy kattaliklari (m), ularning spektrida chiziqlarning qizilga siljish miqdori (z), galaktikalarning burchak kattaligi (θ). Shuningdek, ma'lum yulduziy kattalikgacha (m) bo'lgan, galaktika va kvazarlarni sanash $N(m)$ asosida ham Koinotning tuzilishga oid ma'lum xulosalar chiqarish mumkin. Biroq bu ishning ma'lum qiyinchiliklari va nozik jihatlari borki, ularga e'tibor qilmay iloj yo'q. Shulardan biri kosmologiyada masofani o'lchash va u bilan bog'liq galaktikalar va kvazarlarning yulduziy va burchak kattaliklarini topish muammolaridir. Bu muammoga o'tishdan oldin modellarning yana bir xususiyatiga e'tibor qarataylik. Bu masshtabli faktorni o'zgartirish sur'ati bilan bog'liq jihatlari hisoblanadi. Kosmologiyada modellarni tasvirlashda o'lchamsiz tezlanish parametri deb ataladigan quyidagi ko'rsatgich kiritiladi:

$$q(t) = - \frac{R(t)\ddot{R}(t)}{\dot{R}^2}$$

Bu yerda, $\dot{R}, \ddot{R}$ — masshtabli faktor ($R(t)$)dan vaqt bo'yicha olingan birinchi va ikkinchi hosila. Hozirgi payt ($t = t_0$) da $q(t_0) = q_0$.

a) kosmologiyada masofa muammosi. Astronomiyada masofa (t)ni aniqlashda yoritgichning ko'rinma (m) va absolyut (M) yulduziy kattaliklarini bog'lovchi quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$M - m = 5 + 5 \lg \pi = 5(1 - \lg l)$$

Bu yerda, π — yoritgichning yillik parallaksi va u yoy sekundlarida ifodalanadi. Masofa (t) bilan π orasida quyidagicha bog'lanish bor: $\pi'' = \frac{1}{t}$ yoki $t = \frac{1}{\pi''}$; t — parseklarda ifodalanadi. Ko'rinma yulduziy kattaligi (m) Pogson formulasiga asosan yoritgich nuri Yerda hosil qilayotgan yoritilganlik (E) bilan bog'liq. Yoritilganlik esa yoritgichning yorqinligi (L) bilan

$$E = \frac{L}{4\pi t^2}$$

bog'langan. Bu yerda qollanilgan masofa t — fotometrik masofadir, chunki bu

yoritgich yorug'ligining, to'g'rirog'i uning nuri hosil qilayotgan yoritilganligini o'lchash yo'li bilan topiladi. Statsionar koinot modelida $|R = \text{const}$ bo'lganda va yaqin masofalaridagi yoritgichlarning fotometrik masofa (l) si ularning geometrik masofasiga teng.

Kengayayotgan koinotda masofa masalasi ma'lum xususiyatlarga ega. Bunday holda yoritilganlik yoki Yerda yuza birligiga tushayotgan nurlanish oqimi I nafaqat geometrik nuqtayi nazardan, ya'ni masofaning kvadratiga teskari proporsional ravishda kamayishi, balki vaqt birligi ichida kuzatuvchiga yetib kelayotgan kvantlar sonining kamayishi (sanash effekti) va energiyasining o'zgarishi (energiya effekti) ham e'tiborga olinadi.

Agar t , vaqt momentida birorta galaktikadan Δt_1 vaqt oralig'i farqi bilan kuzatuvchi tomon ikkita kvant chiqqan bo'lsa, ularni kuzatuvchi t_0 vaqt momentida Δt_0 oraliq bilan qayd qiladi. Kengayotgan koinot nazariyasiga ko'ra quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_0} = \frac{R(t_1)}{R(t_0)} \text{ va } R(t_0) > R(t_1) \text{ shuning uchun } \Delta t_0 > \Delta t_1.$$

Kvantlar kelish vaqt oralig'i uzaydi yoki birlik vaqt oralig'ida qayd qilingan kvantlar soni, shunday vaqt oralig'ida galaktikadan chiqarilgan kvantlar sonidan kam bo'ladi.

Haqiqatdan agar Δt_1 va Δt_0 elektromagnit to'lqin davri deb qaralsa, ya'ni $\Delta t_1 = T_1 = \frac{1}{\nu_1}$ va $\Delta t_0 = T_0 = \frac{1}{\nu_0}$ bo'lsa va qizilga siljish tufayli $\lambda_0 = \lambda_1 + \Delta\lambda$

bo'lishini hisobga olinsa, $\frac{\Delta t_1}{\Delta t_0} = \frac{\nu_0}{\nu_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_0} = \frac{R(t_1)}{R(t_0)}$,

$$1 + z = \frac{R(t_0)}{R(t_1)}.$$

Yuqorida keltirilgan formulaga ko'ra $r(t) = r_0 R(t) = r_0 R(t_0)(1+z)$ va galaktika nuri Yerda hosil qilayotgan yoritilganlik quyidagicha:

$$E_0 = \frac{L_1}{4\pi [r_0 R(t_0)(1+z)]^2}.$$

Shunday qilib, fotometrik (l) va kosmologik (r) masofalar orasidagi bog'lanish

$$l = r(1 + z)$$

ekanligini topamiz. Bu bog'lanish masofalarni qanday o'zgartiradi? Shunday

misolni ko'raylik. Kvazar (4G0534)ning qizilga siljishi $z = 2.88$ va uning Xabbl qonuniga ko'ra fotometrik masofasi $l = \frac{c}{H} z = 17.3$ mlrd ps; kosmologik masofasi $r = \frac{l}{1+z} = 4.46$ mlrd ps.

Masofalar orasidagi bu farq Xabbl qonunini barcha z larga qo'llab bo'lmasligini ko'rsatdi va Xabbl qonuni $z \approx 0,3$ gacha o'rinlidir. Savol tug'iladi, kosmologik masofa bilan qizilga siljish orasidagi bog'lanish umumiy holda qanday ko'rinishga ega? Bu bog'lanish V. Matich (Germaniya) tamonidan topilgan va $q_0 > 0$ bo'lganda quyidagicha bo'ladi:

$$r = \frac{c}{Hq_0^2(1+z)} \left[q_0 z + (q_0 - 1)(\sqrt{1 + 2q_0 z} - 1) \right].$$

$q_0 = 1$ bo'lsa, koinotning berk modeli uchun Xabbl qonuni o'mida $r = \frac{c}{H} \frac{z}{1+z}$

ni topamiz; agar $q_0 = 1/2$ (ochiq evklid fazo) bo'lsa $r = \frac{2c}{H} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+z}} \right]$.

Bu bog'lanish $z < 1$ bo'lganda Xabbl qonuni beradi. Shunday qilib, kosmologik (metrik) masofani kuzatishdan bevosita aniqlab bo'lmaydi va uning qiymati model turiga va tezlanish parametri (q_0)ga bog'liq.

b) Xabbl diagrammasi. Uzoq yoritgichlarning yorug'ligi (m) bilan ularning qizilga siljishini solishtirib, kengayayotgan koinotning xususiyatlari to'g'risida ishonchli ma'lumotlar olish mumkin. Tezlanish parametri $q_0 > 0$ bo'lganda yuqoridagi formulalardan ko'rinma bolometrik yulduziy kattaligi (m_0) bilan qizilga siljish z orasidagi quyidagi bog'lanishni topish mumkin:

$$m_b = 5 \lg \frac{1}{q_0^2} \left[q_0 z + (q_0 - 1)(\sqrt{1 + 2q_0 z} - 1) \right] + G$$

$q_0 = 0$ bo'lganda $m_b = 5 \lg z(1 + \frac{1}{2} z) + C$. Bu formula yordamida m_b ni kuzatishdan olingani bilan solishtirib doimiy miqdor C aniqlanadi.

Odatda, yoritgichning yorug'ligi (m) biror tolqin uzunliklari oralig'i, masalan, vizual yoki fotometrik diapazon uchun o'lchanadi. Galaktikaning yorug'ligi (m) bilan qizilga siljish orasidagi bog'lanishni tekshirganda qizilga siljish tufayli galaktika spektrida energiyaning taqsimlanishi egri chizig'ining uzun to'lqinlar tomon siljishi hisobga olinishi kerak.

d) Galaktikaning qizilga siljishi va burchakiy diametri orasidagi bog'lanish.

Agar galaktikaning θ burchakiy, a — chizigʻiy diametri va r — masofasi boʻlsa, quyidagicha ifodalanadi:

$$\theta = \arctg \frac{a}{r} \cong \frac{a}{r}; \text{radian.}$$

Katta masofalarda egrilangan fazo yig'uvchi linza singari nurlanish yo'nalishini o'zgartiradi. Shuning uchun uzoq galaktikalarning burchakiy o'lchamlari ularning masofasiga bog'liq bo'ladi.

$$\theta = a \frac{1+z}{r} = a \frac{(1+z)^2}{l}$$

Bu bog'lanishdan masofa (l) kattalashgan sari z kichik bo'lganda S kichrayishi kelib chiqadi va θ ma'lum minimal qiymatga yetgandan keyin chegaralanmagan holda orta boshlaydi.

Hozirgi zamon teleskoplari, afsuski, hozircha θ ning orta boshlash chegarasini aniqlashga imkon bermayapdi. Bu chegara $z > 1$ bo'lishi kerak. Yuqoridagi formulalardan $z = 0.6$ bo'lganda $q_0 = 1$ uchun θ -ning qiymatj $q_0 = -1$ uchun hisoblanganga qaraganda 1.6 marta katta bo'ladi. z ning qiymati yana ortishi bilan bu farq anchagina kattalashadi. Biroq hozirgi eng katta teleskoplarda o'lchash aniqligi chegarasida qolmoqda.

e) Radiomanbalar sonini hisoblash yo'li bilan Koinotning xususiyatlarini o'rganish. Ma'lum yorug'likgacha bo'lgan radionurlanish manbalari soni bilan shu minimal radiooqim orasidagi bog'lanish ham koinot xususiyatlarini o'rganishga imkon beradi. Agar S — qayd qilish mumkin bo'lgan radiooqim energiyasi bo'lsa, manbaning fotometrik masofasi quyidagicha:

$$l = \sqrt{\frac{4\pi L}{S}}$$

U holda, radiusi l bo'lgan sfera ichidagi S dan katta oqim beraoladigan manbalar sonini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$N(S) = \frac{4\pi}{3} l^3 \cdot n = \frac{(4\pi)^{5/2}}{3} n L^{3/2} S^{-3/2}$$

Bu yerda, n — birlik hajmda manbalar soni. Bir xil yorqinlikdagi ($L = \text{const}$) radiomanbalar bilan bir tekis to'ldirilgan statsionar koinotda manbalar soni quyidagicha:

$$N = N_0 = AS^{-3/2}$$

Kuzatishlarning ko'rsatishicha minimal radiooqim $0.3 \cdot 10^{-26}$ dan to $30 \cdot 10^{-26}$ vt/m²gs gacha bo'lgandagi manbalar soni N_0 dan ancha katta va $S < 0.3 \cdot 10^{-26}$ Vt/m²gs bo'lganliklariniki keskin kamayadi. Bu natijani quyidagi ikki taxminning biri asosida tushuntirish mumkin.

Ko'proq quvvatga ega manbalar tezroq rivojlangan va o'tgan zamonlarda ularning quvvati hozirgi zamondagidan kuchli bo'lgan hamda $z > 3$ da bunday radiomanbalar kuzatilmaydi. O'tgan zamonlarda eng quvvatli radiomanbalar konsentratsiyasi (n) hozirgi paytdagidan ancha katta bo'lgan: $n \approx (1 + z)^{5.7} \approx t^{-3.8}$.

Demak, koinotning kengayishi mobaynida uning har bir obekti rivojlanib borgan.

e) Kritik zichlik va kosmologik doimiy muammosi. Koinot modelining xususiyatlarini bilish uchun metagalaktikada o'rtacha modda zichligi qiymalmi bilish yetarligha o'xshab ko'rinadi. Chunki, agar $\rho > \rho_{kr}$ bo'lsa $k > 0$ va Koinot berk bo'ladi; hozirgi paytda kuzatilayotgan kengayish jarayoni to'xtashi va undan keyin esa siqilish jarayoni boshlanishi kerak. Haqiqatdan olingan barcha natijalar shunday bo'lsa kerak, degan xulosa qilishga undamoqda. Biroq bungay qarash qo'yilgan savollarga hali aniq javob beraolmayapti. Agar metagalaktikada kuzatiladigan barcha galaktikalar va ular orasidagi gaz+chang modda massalari yig'indisini Metagalaktika hajmiga bo'lsak, o'rtacha zichlik chiqadi. U $10^{-30} \div 10^{-31}$ g/sm³ oraliqda bo'lish kerakligi aniqlanadi. 2001-yilgacha Xabbl doimiysining eski qiymatiga ($H \sim 50$) asosan hisoblangan kritik zichlik ham shu oraliqqa to'g'ri kelgan. Bu zichliklar bir-biriga teng emasmikan degan shubha mavjud edi. Xabbl Kosmik teleskopi yordamida bajargan tekshirishlar Xabbl doimiysining yangi, aniq qiymati $H = 74$ km/s Mps ni topishga imkon beradi. Bu yangi qiymatga asosan hisoblangan kritik zichlik ($\rho \sim 10^{-29}$ g/sm³) o'rtacha zichlikdan ishonarli darajada farq qilishni ko'rsatdi.

Biroq yaqinda osmonning barcha tamonidan bir xil intensivlikga ega rentgen nurlanish qayd qilindi. Bu nurlanishni galaktikalararo fazodagi, temperaturasi 450 mln gradus bo'lgan, vodorod sochmoqda degan faraz qilindi.

Agar shunday bo'lsa, koinot moddasining asosiy qismi tarqoq holatda degan xulosa kelib chiqadi. Ikkinchidan, agar neytrinoning tinch holatdagi massasi noldan farq qilishi to'g'ri bo'lib chiqsa, u holda koinotda neytrino massasi oddiy modda massasidan 30 marta ko'p bo'lib chiqadi. Bular hisobga olinsa, o'rtacha zichlik kritik zichlikni yana «quvib» o'tadi, ya'ni $\rho > \rho_{kr}$ bo'lib chiqadi.

Bular yuqorida ko'rib chiqilgan modellarning birinchisi Koinot xususiyatlarini qoniqarli tushuntira oladi degan xulosaga olib keladi. Biroq pulsatsiyalanuvchi koinot modelida oddiy «siqilish va kengayish» bo'lishi mumkin emas. Termodinamikaning ikkinchi qonuniga asosan entropiya kengayish paytida ham, siqilish paytida ham ortib borishi, demak ketma-ket pulsatsiyalanishlarda amplituda va davr ortib borishi zarur. Bitta zarra uchun hisoblangan entropiya qiymati chegaralangan, demak koinot cheklangan marta pulsatsiyalangan. Bunday holda vaqt bo'yicha cheksiz koinot nazariyasini yaratib bo'lmaydi.

Agar $\rho > \rho_{kr}$ bo'lishiga qaramasdan koinotning cheksiz kengayishi o'rinli bo'lsa, u holda kengayishni tezlatuvchi kuch bo'lishi mumkin.

Kosmologik doimiylik koinot materiyasining tabiati va tarkibiga bog'liq. Agar koinot materiyasi atomlardan, yulduzlardan, sayyoralardan iborat deb hisoblansa, u holda Xabbl doimiysining yangi qiymatiga ko'ra koinotning "yoshi" 7 mld. yil bo'lib chiqadi. Holbuki yuqorida ko'rganimizdek sharsimon to'dalar yoshi bundan 1,5 marta katta. Bunday bo'lishi mumkin emas.

Oxirgi yillarda olingan natijalarga ko'ra koinotda materiyaning uchdan birigina modda, ya'ni tortish maydoni hosil qiladigan materiya, qolgan qismi esa, aksincha itarish kuchi xususiyatiga ega va koinotni tezlashgan holda kengayishini ta'minlaydi. Materiyaning bu ko'rinishi "qora energiya" nomini oldi. Shu munosabat bilan kosmologik doimiylik koinotda modda miqdori nega aynan shunday munosabatda degan savol ko'ndalang turibdi. Bu yo'nalishda tekshirishlar olib borilmoqda va yaqin yillar ichida yaxshi natijalar kutilmoqda.

e) Pulsatsiyalanuvchi koinot yoshi qancha. Koinotning "yoshi" koinot moddasining o'rtacha va kritik zichlik nisbatiga va moddaning fizik holatiga ham bog'liq:

$$t_0 = \frac{1}{H} f\left(\frac{\bar{\rho}}{\rho_{kr}}\right).$$

Koinot o'tmishda "sovuq" yoki "qaynoq" bo'lishi mumkin. Agar $\bar{\rho} = \rho_{kr}$ bo'lsa, sovuq koinot uchun $f\left(\frac{\bar{\rho}}{\rho_{kr}}\right) = 0,7$ va qaynoq uchun — 0,5. Agar $\frac{\rho}{\rho_{kh}} = 4$ bo'lsa, yuqoridagi hollarda uchun 0,5 va 0,3 bo'lishi kelib chiqadi. Qaynoq Koinot modeli uchun $\frac{\rho}{\rho_{kp}} \geq 1$ bo'lsa yuqoridagi formula.

$$t = \frac{1}{H} \frac{1}{1 + \sqrt{\Omega}}$$

ko'rinishga keladi. Koinot yoshi Quyosh sistemasinikidan kam bo'lmasligi kerak, demak $\Omega < 9$, Bu esa $\bar{\rho} < \rho_{xp}$ degan hulosaga olib keladi, ya'ni koinotda o'rtacha zichlik kritik zichlikdan kichik bo'lishi kerak.

Xulosa

Bu ilmiy ishda olingan ilmiy natijalarni quydagi xulasalar bilan bayon qilish mumkin.

1. Koinot tuzilishining Fridman va De-Sitter modellaridan koinot nostatsionar kengayuvchan bo'lishi kerakligi kelib chiqadi va bu tajribada tasdiqlanadi.
2. Koinotni relikt nurlanishi bilan to'ldirilganligi, kosmik nurlar enegetik spektrini darajali funktsiya bilan ifodalanishi, spektrni yuqoridan kesilganligi, koinot kengayuvchanligini isbotlovchi eksperimental dalildir.
3. Fridman modelini Metagalaktikani boshlang'ich paytiga ekstrapolyatsiya qilinishi bunday vaqtlarda koinot hajmi nolga teng, zichligi cheksiz katta bolishligi kelib chiqadi. Koinotni bunday boshlang'ich holatiga uning singulyarlik holati deyiladi.
4. Koinot boshlang'ich paytidagi rivojlanishini de-Sitter modeli asosida tushuntirilishi boshlang'ich singulyarlikni yo'qotishiga olib keladi.
5. Ohirgi vaqtda yaratilgan nazariyalarga asosan koinotni boshlang'ich paytdagi evolyutsiyasi, kvantlari skalyar bo'lgan maydonda (fizik vakumda) amalga oshadi.
6. Fizik maydonni hususiyatlari De-Sitter modelidan kelib chiqqanligi, koinotning boshlang'ich paytlaridagi rivojlanish De-Sitter modeliga asosan bo'lganligini bildiradi.
7. Metagalaktika rivojlanishi natijasida vujudga kelgan fazaviy o'tishdan keyin koinotni rivojlanishi Fridman modeliga asosan amalga oshayapdi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro`yhati:

1. И.Л.Розенталь “Проблемы начала и конца Метагалактики” – М.: Знание, 1985, 64 с., Ил.-(Новое в жизни, науке, технике. Сер. “Космонавтика, астрономия”; №2)
2. А.Д.Линде “Раздувающаяся Вселенная”, УФН, 1984, Т.144, с.177
3. В.С.Мурзин “Введение в физику космических лучей”, Из-во МГУ, 1988, 319 с.
4. И.Л.Розенталь “Элементарные частицы и структура Вселенной”, М.: Наука, 1984
5. Л.Б.Окунь “Физика элементарных частиц”. М.: “Наука”, 1984
6. Т.Алимов «Излучении энергетическов спетере космического излучения воблисти жерчии 10^{15} - 10^{16} eV » Дисе Конд Физ-мат “Науки”. Лелинград 1985 г.
7. “Проблемы физики космических лучи посвяшаения памяти академия” С.Н.Верюви, москва «Науки» 1987 г.
8. П.И.Бакулин и др «Курс общей астрономии» Москва «Наука», 1983 г.
9. Grigorov.N.L. et.al.studi of energy spektra Berlin; Asad. Verl.,1972, P.1617-1622
10. Хишен Д.С. “Радиогалактика и над чем думают физики вып Астрофизика” Масква. 1967 г
11. Чаругин. В.М. “Релектовы излучении” М., Знание 1975 г.
- 12.Новиков И.Д. “Эволюция Вселенной” 2-е шу. М., Ноука, 1983.
- 13.Вийнберг.С. “Первые три минуты”. М. Энергоиздат, 1981 г
- 14.Зельдович Я.Б. «современная космология».-природа, 1983 г
- 15.Киржниц Д.А. Линде А.Д. «Фазовые превращения в микромирие и во вселенной - природа, 1979, №11, Т. 144, вып. 2
- 16.Васильев И.В идр. “Спектры ШАЯ и первичный энергетический спектр при $E=10^{17}$ eV”, Якутек: Я.Ф СОАН СССР.1983 г.
- 17.Bower A.J.et.al The Energy Spoctrum of cosmic rays. – Proc 17-th ICRC, Paris, 1981.

