

## Дәріс 9.

### Галактикалар эволюциясы

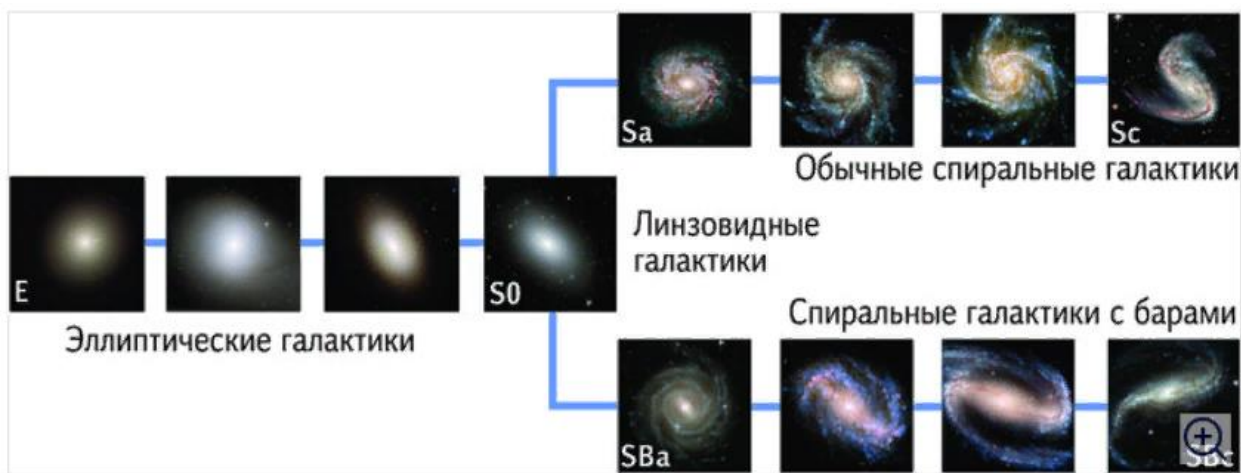
**Дәрістің мақсаты** – галактиканың пайда болуын және олардың уақыт өте келе қалай дамитынын түсіндіру, Хабблдың галактикаларды жіктеу схемасына шолу жасау. Дәріс галактикалардың пайда болуына әкелетін процестерді суреттеуге және олардың миллиардтаған жылдар бойы сыртқы түрін не себепті өзгертетінін түсіндіруге бағытталған.

#### Дәрістің жоспары:

1. Галактика. Хаббл классификациясы.
2. Эволюцияның негізгі механизмдері.
3. Галактикалар эволюциясын зерттеу әдістері.

#### Галактика. Хаббл классификациясы

Галактика – бұл шамамен 200 млрд. жұлдыздан тұратын алып жұлдыздар жүйесі (олардың қатарына біздің Күн де кіреді). Оның құрамында газ бен шаңның мөлшері де бар. Галактикалардың пайда болуы мен эволюциясы туралы сұрақтар экстрагалактикалық астрономия пайда болғаннан кейін бірден зерттеле бастады. Эдвин Хаббл өзінің эволюциялық тізбегін, галактикалардың морфологиялық классификациясын жасады. Егер біз Хабблдың морфологиялық схемасын қарастыратын болсақ (Сурет-1) солдан оңға қарай, еуропалықтардың оқуы мен жазуы әдеттегідей, эволюциялық кезеңнің басында Хаббл ойлағандай, эллиптикалық галактикалар – біртекті және құрылымсыз сфероидтар жүреді. Содан кейін линзалық галактикалар пайда болады, оларда екі компонентті ажыратуға болады – жалпақ диск және сфероидты дөңес. Олардың артынан әртүрлі спиральды галактикалар келеді: оларда дөңес, диск, спиральдар және жұлдыздардың пайда болу аймақтары, кейде көптеген кішігірім құрылымдар да бар. Хабблдың өзі кез-келген галактика алдымен эллиптикалық болып қалыптасады деп, кейіннен ол сфероидтан басқа компоненттері біртіндеп дамиды деп есептеді [1].



Сурет-1. 1936 жылғы Хаббл галактикаларын жіктеу схемасы.

Оның көзқарастарының жаңғырығы біздің қазіргі терминологиямызда қалды: Хабблдан кейін біз әлі күнге дейін Хаббл диаграммасындағы галактикаларды "ерте типтегі" галактикалар, ал оң жақтағыларды "кеш типтегі" галактикалар деп атаймыз. Алайда, Хаббл схемасының эволюциялық мәні галактикалардың ғаламдық сипаттамаларын өлшеудің жеткілікті статистикасы жинақталғаннан кейін қабылданбады. Біріншіден, әр түрлі морфологиялық типтегі галактикалар әртүрлі массалық интервалдарда жататыны белгілі болды: эллиптикалық галактикалардың арасында өте массивті, жұлдыздар түрінде  $10^{12}$  Күн массасына дейін ( $M_{\odot}$ ) және толығымен ергежейлі, глобулярлық кластерлерден сәл массивті, яғни  $10^6 - 10^7 M_{\odot}$ . Спиральды галактикалар тек "орташа" массада болады – олар интегралды абсолютті шамалардың аз диапазонында кездеседі: шамамен  $M_B \approx -18$ -ден  $M_B \approx -21$ -ге дейін, яғни олардың жұлдызды популяциясының массасы  $10^{10} - 10^{11} M_{\odot}$  [2].

Даму процесінде эллиптикалық галактиканы қажетті жарық аралығына еніп, спиральды галактикаға айналу үшін жұлдыз массасын тастауға мәжбүр ететін эволюция механизмін елестету мүмкін емес. Сонымен қатар, эллиптикалық және дискілі галактикалар импульстің түбегейлі әр түрлі моментіне ие: эллиптикалық өте баяу айналады немесе мүлдем айналмайды, ал спиральды галактикалар болса бұған керісінше құбылысты көрсетеді. Бұны эволюцияның аралық кезеңдерінде алу мүмкін емес, Хаббл схемасында бұған нұсқау болмады.

1970 жылдарға қарай астрономдар арасында әртүрлі морфологиялық типтегі галактикалардың бастапқы шарттары мен қалыптасу сценарийлері әртүрлі, сондықтан олар бір-біріне айнала алмайды деген пікір қалыптасты. Бір қызығы, бұл пікір ұзаққа сақталмады. 1990 жылдардың ортасына қарай морфологиялық типтердің эволюциялық трансформациясы идеясы қайта пайда болды, бірақ қазір эволюция бағытының векторы қарама-қарсы бағытта дамыды: қазір теориялық физикамен айналысатын ғалымдар алдымен таза дискілі галактикалар пайда болады деп санайды (яғни, өте кеш типтегі спиральдар), содан кейін олар ғасырлық (яғни баяу, біртіндеп) эволюция барысында өседі, кейін олар бір-бірімен және "мержинг" нәтижесінде (ағылш. біріктіру) жаңа өмірді сфероидты эллиптикалық галактикалар ретінде қалыптасады [2].

Дегенмен, кез-келген жұлдыздық құрылымды қалыптастыру үшін жұлдыздардың өзі қажет. Галактикалардың барлық түрлерінің, яғни жұлдыздардың пайда болу процесінің негізгі элементіне келетін болсақ, ХХ ғасырдың ортасында екі бәсекелес тұжырымдама болды: Дж. Джинстың космогониясы, ол үшін кілт сөз "конденсация" және космогония болса, В.А. Амбарцумянның космогониясы, кілт сөз – "ұшу". Джинстың тұжырымдамасына сәйкес жұлдыздар (және галактикалар) гравитациялық коллапстың (қысу) және онымен бірге жүретін газ бұлттарының фрагментациясы нәтижесінде пайда болды. Бұл процестің механизмі-гравитациялық тұрақсыздық - барлық зерттеушілерге түсінікті болды;

жұлдыздардағы термоядролық реакцияларды жандыруға арналған энергия көздері де дәстүрлі және классикалық термодинамикада жақсы зерттелген.

Амбарцумянның тұжырымдамасы сол кездегі галактикалардың белсенді ядроларының жұмбақ орасан зор энергиясынан шабыттанды. Оларда белгілі бір "жұлдызға дейінгі зат" бар деп болжанған, ол белгісіз қасиеттерге ие, өйткені оның табиғаты белгісіз, сонымен қатар белгілі бір қасиеті бар: ол өздігінен қуатты энергия шығарумен ұшады (жарылады) және оның шашырауынан жұлдыздар пайда болады. Осылайша, бастапқыда галактиканың ядросы болған, содан кейін оның айналасында галактиканың барлық басқа құрылымдары салынған деп болжанған. Амбарцумян мен оның қызметкерлерінің ынта-жігері мен талантына және Армениядағы үлкен және жақсы жабдықталған Бюракан обсерваториясының көпжылдық күш-жігеріне қарамастан, "жұлдызға дейінгі заттың" табиғатын, оның энергиясының қайнар көзі мен ұшу механизмін егжей-тегжейлі анықтау мүмкін болмады. Соңында Джинстың тұжырымдамасы дұрыс болды.

Қызықты және өте ерекше космогониялық тұжырымдама өткен ғасырда және ММУ мемлекеттік астрономиялық институтының (ГАИШ) қабырғаларында дамыды. Профессор Б.А. Воронцов-Веляминов, галактикалардың өзара әрекеттесуіне бейім және іс жүзінде өзара әрекеттесетін галактикаларды класс ретінде ашқан. Воронцов-Веляминов өзара әрекеттесетін галактикалардың каталогын жасады, онда ол M51 — ді бірінші нөмірмен, VV1-мен белгіледі және ұқсас галактикалардың-өзара әрекеттесетін "M51 типті" галактикалардың толық жиынтығын алды. Ол кішігірім екінші буын галактикалары үлкен газ дискілерінің гравитациялық (тыныс алу) өзара әрекеттесуінен, олардың ғаламдық құрылымдарында спиральды тармақтар пайда болуы мүмкін деген идеяны алға тартты.

### **Эволюцияның негізгі механизмдері**

Галактикалардың пайда болуы мен эволюциясы туралы барлық зерттеулер ең алдымен физикалық модельге сүйенеді. Болашақта бұл біртұтас, өзін — өзі үйлестіретін модель болуы керек, бірақ тарихи тұрғыдан алғанда, галактикалардың құрылымы мен бақыланатын сипаттамаларын-олардың мөлшерін, жылтырлығын, түсін, ішкі қозғалыстарын қалыптастыратын және өзгертетін физикалық механизмдердің үш класы әлі күнге дейін дербес қарастырылады. Механизмдердің үш класы бар: динамикалық эволюция, спектrophотометриялық эволюция, галактикалардың химиялық эволюциясы.

#### **-Динамикалық эволюция**

Теорияның классикалық нұсқасында динамикалық эволюция, ең алдымен, галактиканың қалыптасуына қатысты эволюцияның алғашқы кезеңі ретінде түсінілді. Бұл дәстүр біздің айналамыздағы галактикалардың көпшілігінің динамикалық тұрақты жүйелерге ұқсайтындығымен түсіндірілді; олар вириал теоремасын орындайды,  $2T + U = const$ , мұндағы  $t$ -жүйенің кинетикалық энергиясы, ал  $U$ -оның потенциалдық энергиясы [2,3]. Сондықтан алдымен галактикалардың құрылымын құрған қарқынды динамикалық процестер олардың өмірінің алғашқы миллиард жылында, протогалактикалық газ бұлтының құлау дәуірінде және ондағы жұлдыздардың пайда болуында болды

деп болжанған. Кейінірек динамикалық эффекттер құрылымдық сипаттамаларды сәл ғана өзгертті: мысалы, ескі жұлдыздардың хаотикалық жылдамдығының жоғарылауына байланысты ("динамикалық қыздыру") галактикалық дискілер қалыңдауы мүмкін.

-Галактикалардың спектродотометриялық эволюциясы — яғни олардың жарықтығы, түсі мен спектрінің эволюциясы - оны құрайтын жұлдыздардың эволюциясының жалпы әсерімен анықталады. Бақылаулар кезінде біз жеке жұлдыздарға тек бізге жақын галактикаларды ала аламыз; галактикалардың басым көпшілігі үшін тек интегралды ағындар өлшеуге қол жетімді — берілген галактиканы немесе галактиканың берілген аймағын құрайтын барлық жұлдыздардың сәулеленуінің қосындысы [2].

Галактикалардың спектродотометриялық модельдері жұлдыздардың спектрлерін сандық интеграциялау (қосу) арқылы құрылады, олар өз кезегінде жұлдыздар эволюциясының жақсы дамыған теориясынан алынады. Герцспрунг-Рассел диаграммасындағы жұлдыздардың эволюциялық жолдарының анықтаушы параметрлері жұлдыздың массасы мен металдылығы болып табылады, сондықтан интеграция жұлдыздардың массалары мен жасына сәйкес жүзеге асырылады, ал металдылық галактика моделінің параметрі ретінде бекітіледі.

Есептеулер көрсеткендей, жұлдыздардың пассивті дамып келе жатқан жүйесі уақыт өткен сайын сайын күңгірттеніп, қызарып кетеді, өйткені ең массивті, жарқын көк жұлдыздар өмір жолын аз массивке қарағанда ертерек аяқтайды. Шамамен 10 миллиард жасында мұндай жұлдыздар жүйесі тек Күнге қарағанда массасы аз жұлдыздардан тұрады және оның спектродотометриялық эволюциясы айтарлықтай баяулайды. Сондықтан қызыл ығысуда эллиптикалық галактикалар  $z = 0$  және  $z = 0,5$  бірдей көрінеді, дегенмен олардың алыстағы галактикалары  $z = 0,5$ -те Орта есеппен 3-5 млрд. жасқа кіші. Бірақ егер галактикада оның өмір жолының ортасында немесе кез-келген басқа аралық кезеңінде жаңа жас жұлдыздар пайда болса, онда ол осы сәтте "жасарған", яғни жарқырап және көгеріп, содан кейін эволюция сәл өзгеше болып, атап айтқанда – жылдам қарқынмен өсуі керек еді [1, 2].

Егер біз жақын галактикалардың заманауи түстері мен жарықтығы туралы ең жалпы әсерлерді қысқаша сипаттайтын болсақ, онда олар барлық галактикалар ескі модельдермен жақсы сипатталады, яғни, жұлдыздардың пайда болуының алғашқы жарқылы 10 миллиард жыл бұрын болған, ал одан әрі – галактиканың морфологиялық түрі неғұрлым ерте болса, оның ғаламдық жұлдыздардың пайда болуының тән ыдырау уақыты соғұрлым аз болды. Эллиптикалық галактикаларда бәрі 1 млрд. жылдан аз уақыт ішінде аяқталуы керек еді, ал Sc галактикаларында жұлдыздардың пайда болуы оның бүкіл өмірінде шамамен тұрақты деңгейде жүріп тұрады. Тұрақты емес және ергежейлі галактикаларда, әдетте, "жарқыл" ретінде, яғни ғаламдық жұлдыздардың пайда болуының біркелкі емес процесі қабылданады [2].

-Галактикалардың химиялық эволюциясы-химиялық элементтердің пайда болу тарихы. Қазіргі түсініктерге сәйкес, ғаламның алғашқы бірнеше минутында үлкен жарылыста тек ең жеңіл элементтер – сутегі және оның

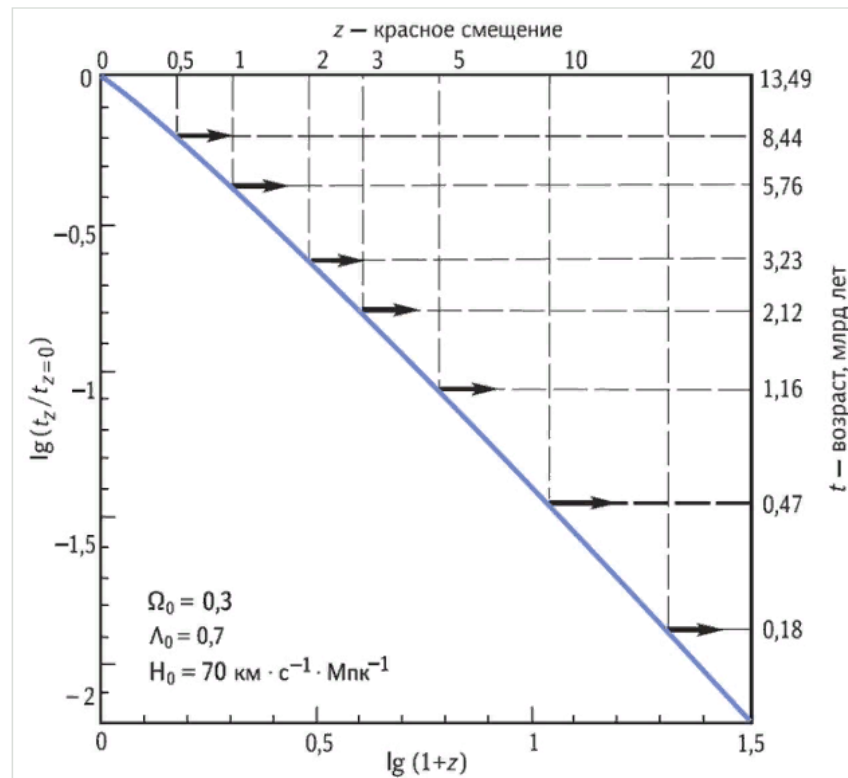
изотоптары, гелий және литий пайда болды. Барлық басқа элементтер жұлдыздарда олардың эволюциясы кезінде, термоядролық реакциялар кезінде пайда болады. Оның бірнеше сынып ядролық реакциялар тән, жұлдыздар, түрлі масса түрлі кезеңдерде олардың өмір: протон-протондық тізбегін, CNO-цикл, гелийдің жануы, көміртек жануы, *s*-процестер, *r*-процестер және т. б.

Әрбір нақты химиялық элементті өндіруге белгілі бір реакциялардың үлесі туралы теориялық физикамен айналысатын ғалымдардың пікірлері әлі толық дәлелденген жоқ. Алайда, галактикалардың химиялық эволюциясын модельдейтіндер батыл түрде "өнер күйін" алады, яғни жұлдызды нуклеосинтездің ең соңғы есептеулері, содан кейін спектrophотометриялық модельдеу кезінде жұлдыздардың жарықтығын біріктіргендей, уақыт пен жұлдыздардың массасы бойынша химиялық элементтер өндірісін біріктіреді. Модель параметрлері сәйкесінше дәс сондай -жұлдыздардың массалар бойынша бастапқы таралуы және галактикадағы жұлдыздардың пайда болу тарихы, сонымен қатар қазіргі уақытта берілген деп саналатын жұлдызды нуклеосинтез теориясы.

Астрономияда гелийден ауыр барлық элементтер дәстүрлі түрде "металдар" деп аталады, бұл жерде біз химиктермен терминологиялық тұрғыдан алшақтаймыз. Жұлдыздардағы металдар синтезделетіндіктен, бірақ іс жүзінде жойылмайтындықтан, галактиканың металдылығы уақыт өте келе әрдайым артады, бірақ қандай жылдамдықпен және қандай заңмен — бұл модельдің бөлшектеріне байланысты. Галактикалардың химиялық эволюциясы саласында зерттеушілердің спектrophотометриялық эволюция саласында жоқ күшті эталоны бар-бұл біздің галактика. Біз оған бүйірден қарап, жарықтығын өлшей алмаймыз, бірақ жеке жұлдыздардың химиялық құрамын өлшей аламыз. Галактика жұлдыздарының химиялық құрамы көптен бері жаппай зерттеліп келеді, сондай-ақ жақсы статистика бар, бірақ бұл жағдайды анық көрсетеді деп айтуға болмайды. Алғашқы жұлдыздар жұлдыздардың құрамындағы термоядролық реакциялар тізбегі арқылы өтпеген, сондықтан нөлдік металлдық қасиетке ие бастапқы газдан пайда болуы керек. Алайда, біздің галактикада нөлдік металлдығы бар бірде-бір жұлдыз әлі табылған жоқ.

### **Галактикалар эволюциясын зерттеу әдістері**

Галактикалар эволюциясының суретін нақты мазмұнмен толтыру және әртүрлі ықтимал эволюциялық кезеңдер мен механизмдердің реттілігі мен маңыздылығын құру үшін бақылау деректері қажет. Оларды екі түрлі жолмен алуға болады. Біріншіден, жақын галактикалардың құрылымы мен сипаттамаларын егжей-тегжейлі зерттеп, эволюцияның физикалық модельдерін құруға болады, олар соңғы сатыда нөлдік қызыл ығысу кезінде біз өзімізге жақын жерде жұлдыздар популяциясының динамикасы, құрылымы мен сипаттамалары бойынша толығымен ұқсас объектілерді береді. Екіншіден, қазіргі заманғы үлкен телескоптардың орасан зор өткізгіш күшін ескере отырып, үлкен қызыл ығысуларға тікелей қарауға болады — онда біз бірнеше миллиард жыл бұрын болған галактикаларды көреміз. Өйткені, жарық жылдамдығы шектеулі және өте алыс қашықтықтан жарық - галактикадан бізге миллиардтаған жылдарға созылуы мүмкін.



Сурет-2. Галактиканың байқалған қызыл ығысуын (көлденең ось) біз бақылап отырған галактика осы күндері одан қабылданған жарықты (тік ось) шығарған сәтте ғаламның жасымен байланыстыратын схема.

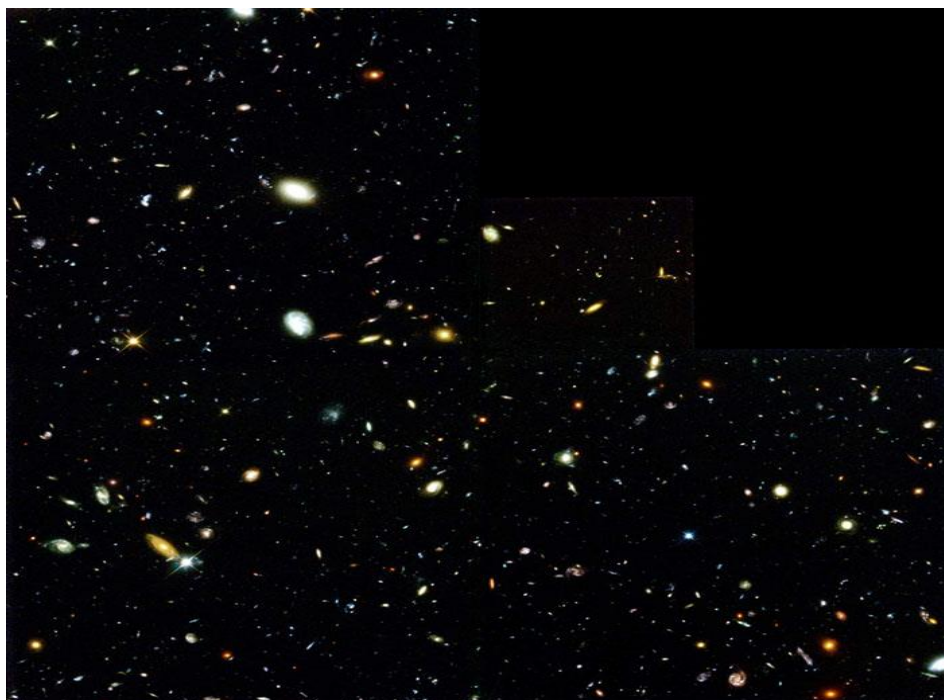
(Сурет-2)-де галактика байқалатын қызыл ығысудың байланысы және ол үшін ғаламның туылуынан өткен уақыт, яғни үлкен жарылыстан галактика біз қазір қабылдап жатқан кванттарды шығарған сәтке дейін ұсынылған. Суреттегі кестені есептеу үшін ең танымал заманауи космологиялық модель қолданылды — қараңғы материя және қара энергия. Дәл осы космологиялық модель ғаламның геометриясын, қашықтық шкаласын және сәйкесінше жарық сәулесінің галактикадан  $z = 0$ -де орналасқан  $Z$ -ге дейін бізге жету үшін қажет уақытын анықтайды [3].

Суреттен біз галактиканы  $z = 1$  қызыл ығысумен көргенде, оны 8 млрд. жыл бұрын болғанды көреміз. Ал қазір галактикаларды ең көп іздейтін және шолатын  $z = 5$  қызыл ығысуда ғалам үлкен жарылыстан бір млрд. жыл өткен соң көрінеді. Қазіргі заманғы бақылау құралдарымен біз ғаламның барлық дерлік эволюциясын көреміз және  $Z$  арқылы қозғала отырып, галактикалардың толық ғарыштық популяциясының эволюциясын тікелей бақылай аламыз.

-Тікелей бақылау

Галактикалардың эволюциясын әртүрлі қызыл ығысулардағы типтік сипаттамаларын салыстыру арқылы жүргізетін тікелей бақылаудың ең жарқын мысалы — Хаббл терең өрістерін (HDF, Hubble Deep Fields) - яғни Хаббл ғарыштық телескопы түсірген аспан кеңістігін өте ұзақ экспозициялармен зерттеу тарихы. Қазір олардың бірнешеуі бар — Хабблдың ультра терең өрісі (2004), Хабблдың өте терең өрісі (2012) және барлығы екі Солтүстік және

Оңтүстік шағын алаңнан басталды. Хабблдың Солтүстік терең өрісі (HDF-N) бірінші болып түсірілді және бүгінгі күнге дейін мұқият зерттелді [3].



Сурет-3. Хабблдың алғашқы терең өрісі (HDF-N)

**Әдебиеттер тізімі:**

1. Сильченко О. К. Происхождение и эволюция галактик / под редакцией В. Г. Сурдина. — Фрязино: Век 2, 2017. — 224 с.
2. Сурдин В. Г. Галактики. — 2-е, исправленное и дополненное. — М.: Физматлит, 2017. — 432 с.
3. Mo H., van den Bosch F., White S. Galaxy formation and evolution. — Cambridge University Press, 2010. — 842 p.