

Дәріс 4

Шағын нысандар

Дәрістің мақсаты: Әлемдегі шағын астрономиялық нысандардың табиғаты, қасиеттері және рөлі туралы терең түсіну. Оған мыналар кіреді:

- Шағын нысандардың физикалық сипаттамаларын түсіну:
- Ақ ергежейлілердің, нейтрондық жұлдыздардың және қара құрдымдардың табиғатын зерттеу. Олардың массасын, радиусын, тығыздығын және басқа физикалық параметрлерін бағалау. Сонымен қатар, олардың пайда болуы мен эволюциясының механизмдерін зерттеу:
- Қарапайым жұлдыздардан шағын нысандардың пайда болуына әкелетін процестерді талдау.
- Ақ ергежейлілердің, нейтрондық жұлдыздардың және қара құрдымдардың пайда болуына әкелетін жұлдыздар эволюциясының кезеңдерін қарастыру.
- Шағын нысандармен байланысты астрофизикалық құбылыстарды зерттеу:
 - Шағын нысандармен байланысты рентгендік және гамма-сәулелену көздерін талдау.
 - Қазіргі заманғы астрономиялық аспаптар мен технологияларды пайдалана отырып, бақылау деректерін талдау.

Дәрістің жоспары:

1. Шағын нысандар туралы түсінік
2. Шағын нысандардың пайда болуы
3. Әдебиеттер тізімі

«Шағын нысан» термині жалпы түрде ақ ергежейлілер, нейтрондық жұлдыздар, басқа экзотикалық тығыз жұлдыздар және қара құрдымдар үшін қолданылады. Шағын нысандар – ақ ергежейлілер, нейтрондық жұлдыздар және қара құрдымдар – қарапайым жұлдыздар өлгеннен кейін, яғни олардың ядролық отынының көп бөлігі біткен кезде туады. Шағын нысандардың көпшілігі жұлдыздар эволюциясының соңғы нүктелері болып табылады, сондықтан көбінесе жұлдыз қалдықтары деп аталады. Қалдықтың пішіні ең алдымен жұлдыздың пайда болған кездегі массасына байланысты. Бұл объектілердің барлығының көлемі шағын, тығыздығы жоғары. «Шағын жұлдыз» термині жұлдыздың нақты табиғаты белгісіз болған жағдайда жиі қолданылады.

1-кесте. Қарапайым масса, радиус және орташа тығыздық

	M/M_{\odot}	R/R_{\odot}	$\langle\rho\rangle$ г/см ³
Ақ ергежейлілер	0,6	0,01	$3 \cdot 10^5$

Нейтрондық жұлдыздар	1,5	10^{-5}	10^{15}
Жұлдыздық шамадағы қара құрдым	10	$3 * 10^{-5}$	10^{15}
Аса массивті қара құрдым	$10^6 - 10^{10}$	$30 - 3 * 10^5$	$10^{15} - 10^{-3}$

Ақ ергежейлі жұлдыздар Жердің өлшемімен бірдей, бірақ олардың массасы Күндікімен салыстырылады. Нейтрондық жұлдыздардың тығыздығы ядролардың тығыздығымен салыстырылады.

Шағын нысандардың үш түрі де қарапайым жұлдыздардан екі негізгі жолмен ерекшеленеді:

– Біріншіден, олар ядролық отынды жақпағандықтан, термиялық қысым жасау арқылы гравитациялық күйреуге қарсы тұра алмайды. Оның орнына, ақ ергежейлілер негізінен айныған электрондардың қысымымен, ал нейтрондық жұлдыздар ең алдымен айныған нейтрондардың қысымымен қолдау көрсетеді. Қара құрдымдар, керісінше, толығымен құлаған жұлдыздар.

– Тағы бір ерекшелік – қарапайым жұлдыздармен салыстырғанда шағын нысандардың өте кішкентай өлшемдері. Салыстырмалы массадағы қарапайым жұлдыздармен салыстырғанда, шағын нысандардың радиустары әлдеқайда аз, сондықтан беттік гравитациялық өрістер әлдеқайда күшті.

Массалары 10^{15} г-ден аз және радиустары 1 Фермиден аспайтын өздігінен шығарылатын қара «шағын» құрдымдарды қоспағанда, шағын нысандардың барлық үш түрі Әлемнің өмір сүру тәртібі бойынша статикалық болып табылады. Олар жұлдыздар эволюциясының соңғы кезеңін білдіреді.

Шағын нысандардың тығыздығы өзгеруі мүмкін орасан зор диапазонға байланысты оларды зерттеу материяның құрылымын және параметрлердің өте кең диапазонында бөлшектер арасында әрекет ететін күштердің табиғатын терең физикалық түсінуді талап етеді. Шағын нысандарда іргелі өзара әрекеттесулердің барлық төрт түрі (күшті және әлсіз ядролық күштер, электромагнетизм және гравитация) рөл атқарады. Әсіресе, шағын объектілердің бетіндегі гравитациялық потенциалдың үлкен шамасын атап өтуге болады, бұл олардың ішкі құрылымын анықтауда жалпы салыстырмалылық теориясының әсерлерінің маңызды болуына әкеледі. Тіпті Ньютондық гравитациялық теориясы тепе-теңдік күйін адекватты түрде сипаттайтын ақ ергежейлілер үшін де олардың тұрақтылығы туралы мәселені зерттеу кезінде жалпы салыстырмалылық теориясы қажет болып шығады.

Радиусы аз болғандықтан, жылулық энергиясының қалған бөлігін шығаратын жарықты ақ ергежейлілер, жарықтылығы төмен болғанымен, қалыпты жұлдыздарға қарағанда айтарлықтай жоғары тиімді температурамен сипатталады. Басқаша айтқанда, ақ ергежейлілер кәдімгі ергежейлі жұлдыздарға қарағанда әлдеқайда «ақ» болады, олардың аты осыдан шыққан.



1-сурет. Ақ ергежейлі жұлдыздың моделі [1]

Ешбір жарық (немесе басқа нәрсе) қара құрдымнан шыға алмайды. Сондықтан оқшауланған қара құрдым кез келген бақылаушыға «қара» болып көрінеді.

Нейтрондық жұлдыздар кері бета-ыдырау процесінде электрондар мен протондардың өзара жойылуынан пайда болған нейтрондардан тұратындықтан осы атауды алды. Нейтрондық жұлдыздардың тығыздығы ядролық жұлдыздардың тығыздығымен салыстырылатындықтан, олар шын мәнінде өздерінің тартылыс күшімен бірге ұсталған «алып ядролар» (10^{57} бариондар) болып саналады.

Ақ ергежейлілерді ұзақ салқындату кезеңінде тікелей оптикалық телескоптарда байқауға болады. Нейтрондық жұлдыздарды импульстік радиокөздер (пульсарлар) және жанама түрде нейтрондық жұлдызға газдың жиналуынан туындайтын рентгендік сәулеленудің мерзімді көздері (рентгендік пульсарлар) ретінде байқауға болады.

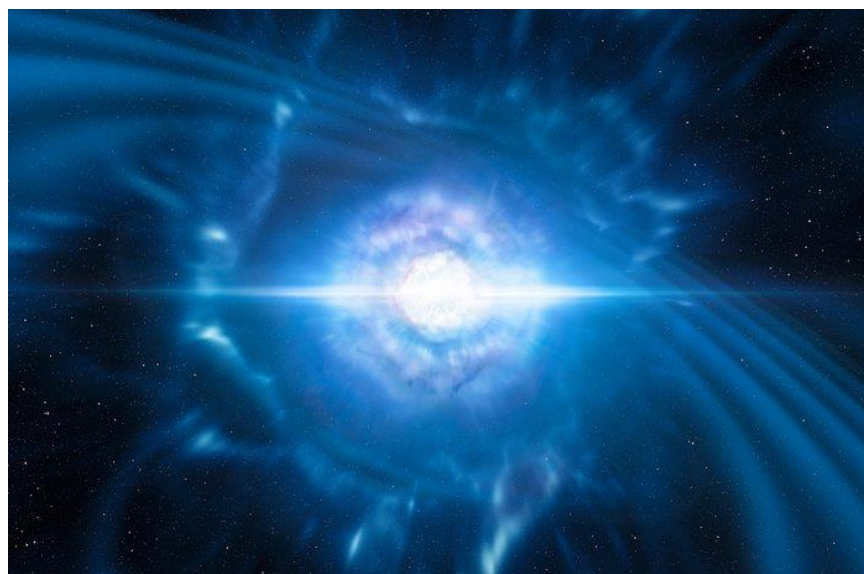
Қара құрдымдарды тек жанама түрде байқауға болады. Мысалы, белгілі бір жағдайларда олар газдың жиналуынан туындайтын рентгендік сәулеленудің периодты емес көздері ретінде көрінуі мүмкін.

Шағын нысандардың пайда болуы

Шағын нысандар – жұлдыздар эволюциясының соңғы сатысы. Жұлдыздың ақ ергежейлі, нейтрондық жұлдыз немесе қара құрдым ретінде өмірін аяқтайтынын анықтайтын негізгі фактор оның массасы деп саналады.

Ақ ергежейлілер массасы $M \leq 4M_{\odot}$ болатын жеңіл жұлдыздардан түзілген деп есептеледі. Ақ ергежейлілер үшін максималды массасы шамамен $1.4M_{\odot}$ болады. Жұлдыздар эволюциясының соңында массасының бір бөлігін шығарып, планеталық тұмандықтарды түзеді.

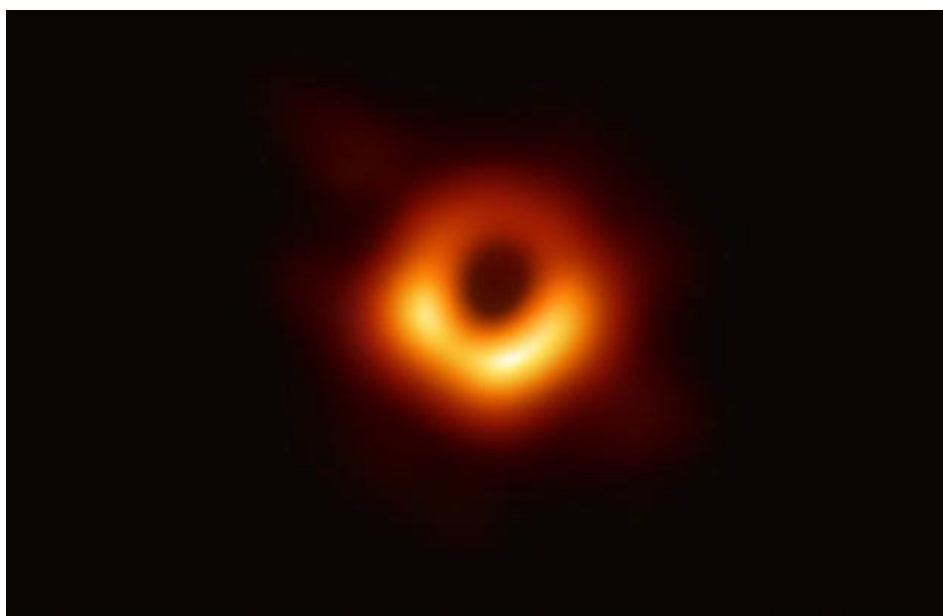
Нейтрондық жұлдыздар мен қара құрдымдар массасы үлкенірек жұлдыздардан шыққан деп есептеледі.



2-сурет. Нейтрондық жұлдыздардың моделі [2]

Алайда, нейтрондық жұлдыздар мен қара құрдымдарға айналатын жұлдыздар арасындағы бөлу сызығы нақты белгісіз, өйткені массивті жұлдыздар эволюциясының соңғы кезеңдері аз зерттелген. Нейтрондық жұлдыздар үшін де максималды массалық мән бар. Ол – $1.4 - 3M_{\odot}$ диапазонында.

Қара құрдымға әкелетін толық гравитациялық құлдырау, негізінен, жоғары дамыған массивті жұлдыздың тікелей күйреуінен басқаша болуы мүмкін. Мысалы, жоғарыда ақ ергежейлі немесе нейтрондық жұлдыз құлауға қарсы тұра алмайтын белгілі бір максималды масса болғандықтан, осы объектілердің кез келгеніне газдың жиналуы (мысалы, екілік жүйеде) қара құрдымның пайда болуына әкелуі мүмкін.



3-сурет. Қара құрдымның алғаш алынған суреті [3]

Қара құрдымдардың пайда болуының кем дегенде екі басқа процесі теоретиктермен ұсынылған (бірақ бақылаушылар әлі растамаған). Біріншісі – «аса массивті жұлдыздың» күйреуі, нәтижесінде «аса массивті қара құрдым» пайда болады. Сәйкесінше, супермассивті жұлдыз өзінің дамуында осы тығыздыққа жеткенде, сәулелік салқындап және сығылса, ол апатты түрде қара құрдымға айналуы мүмкін. Бұл квазарларда және белсенді галактикалық ядроларда байқалатын ең күшті белсенділікті түсіндіру үшін ұсынылған массасы $M/M_{\odot} \sim 10^6 - 10^9$ болатын аса массивті қара құрдымдардың бастауы болуы мүмкін.

Екінші механизм – біркелкі фондық тығыздық өрісіндегі бұзылуларға байланысты ерте Әлемде алғашқы қара құрдымдардың пайда болуы. $M \lesssim 10^{15}$ г болатын барлық қара «шағын құрдымдар» Хокинг процесіне байланысты өз массасын Әлемнің жасынан аз уақыт ішінде шығаруы керек болғандықтан, қазіргі уақытта тек $M \gtrsim 10^{15}$ г қара құрдымдар болуы мүмкін деп есептелінеді.

Негізінде, астрономиялық бақылаулар шағын нысандар жұлдыздар эволюциясының соңғы сатысы деген идеяны қолдауы мүмкін. Жұлдыз пайда болған кезден бастап біздің Галактикадағы «өлі» жұлдыздардың санын санай отырып, біз қазіргі уақытта Галактикадағы шағын нысандардың санын (және тығыздығын) әртүрлі сенімділік дәрежесімен бағалай аламыз. Содан кейін біз бұл санды бақылаулармен салыстыра аламыз.

Мұндай есептеулер ақ ергежейлі жұлдыздар үшін нақты нәтиже береді. Ақ ергежейлілер мен планеталық тұмандықтар туралы көптеген бақылау деректері бар, сондықтан жұлдыздардың өлу жылдамдығына негізделген олардың кеңістіктік тығыздығының кез келген мәнін тексеруге болады.

Нейтрондық жұлдыздар немесе қара құрдымдар үшін ұқсас бағалаулар әлдеқайда сенімді емес. Алдыңғы жұлдыздардың массалық диапазонындағы үлкен белгісіздіктен басқа, нейтрондық жұлдыздар мен қара құрдымдарды астрономиялық масштабта олардың өмір сүруінің өте қысқа «белсенді» кезеңінде олар пульсарлар немесе шағын рентгендік көздер түрінде көрінген кезде ғана байқауға болатынына байланысты қосымша күрделілік бар.

Кейбір деректер қазірдің өзінде кейбір қызықты қорытындылар жасауға мүмкіндік береді. Көріп отырғанымыздай, шағын нысандар Галактикада басқа жұлдыздар сияқты кең таралған. Ақ ергежейлілердің үлестірілетін жалпы массалық тығыздығының байқалатын үлесі қарапайым жұлдыздардағы массалық тығыздықтың айтарлықтай бөлігін құрайды.

Көптеген ақ ергежейлі және нейтрондық жұлдыздар (яғни пульсарлар) қазірдің өзінде ашылған және қара құрдымға кем дегенде бір жақсы үміткер бар (Cygnus X-1).

Әдебиеттер тізімі:

1. https://www.eso.org/public/unitedkingdom/products/postcards/postcard_0072/
2. <https://www.eso.org/public/unitedkingdom/news/eso1917/>
3. <https://www.eso.org/public/unitedkingdom/images/eso1907a/>