

Дәріс 9

Галактикалардың айналу қисығы

Дәрістің мақсаты: галактикалардағы жұлдыздар мен газдардың қозғалысын зерттеу. Айналу қисықтарын түсіну мыналарға мүмкіндік береді:

Галактикалардың құрылымын зерттеу: Галактиканың әртүрлі құрамдас бөліктері (жұлдыздар, газ, қараңғы материя) арасында массаның қалай бөлінетінін талдау.

Гравитацияның бар үлгілерін сынау: Бақыланатын айналу қисықтарын Ньютон заңдары мен жалпы салыстырмалық теориясына негізделген болжамдармен салыстыру.

Қараңғы материяны зерттеу: қараңғы материя мен оның галактикалардың пайда болуындағы рөлін зерттеуге әкелетін көрінетін массалық және гравитациялық әсерлер арасындағы сәйкессіздіктерді түсіндіру.

Астрофизикалық теорияларды дамыту: Галактикалық динамика мен эволюцияның модельдерін бағалаңыз және нақтылау.

Космологиялық деректерді алу: Галактикалардың қозғалысын және олардың өзара әрекеттесуін талдау арқылы Әлемнің масштабы мен құрылымын зерттеу.

Дәрістің жоспары:

1. Айналу қисығының шылу тарихы
2. Галактикалық айналу қисықтары – қараңғы материяның бар екендігінің дәлелі
3. Галактикалық айналу қисығына көрінетін
4. Қараңғы галонның массалық үлесі мен диск бетінің жарықтығы арасындағы байланыс
5. Әдебиеттер тізімі

Галактикалардың айналу қисықтары галактикалардағы массаның таралуын анықтаудың негізгі құралы болып табылады. Олар галактикалардың динамикасын, эволюциясын және қалыптасуын түсіну үшін іргелі ақпаратты береді.

Галактикалардың айналу қисықтары, яғни галактикадағы жұлдыздар мен газдардың айналмалы жылдамдығының олардың галактикалық орталықтан қашықтығына байланысты профилі — қараңғы материяның ашылуында ерекше маңызды рөл атқарды. Кейбір ақылға қонымды жеңілдетілген жорамалдар бойынша галактикалардың массалық таралуы олардың айналу қисықтарынан қорытынды жасауға болады.

Айналу қисығының шылу тарихы

Галактикалардың айналу қисығының ашылуы астрономия тарихындағы және галактикалардың құрылымы мен динамикасын түсінуіміздегі маңызды оқиға болды. Бұл процесс 20 ғасырдың бірінші жартысында басталып, бірнеше ондаған жылдарға созылды.

1917 жылы голланд астрономы Якобус Каптейн біздің Галактикадағы жұлдыздардың спектроскопиялық өлшемдері оның айналуын көрсете алады деп ұсынды. Ол біздің галактикадағы жұлдыздардың жылдамдығы, егер Галактика центрінен қаншалықты қашықта жатқанына байланысты өзгеруі керек, екенін атап өтті.

Алайда галактикалардың айналу қисығының алғашқы бақылаулары тек 20 ғасырдың ортасында ғана жасалды. Генри Норрис Рассел әріптестерімен 1918 жылы NGC 4594 (Сомберо галактикасы деп те аталады) жұлдыздар шоғырының әдеттен тыс айналу жылдамдығы бар екенін анықтады. Олар галактикадағы жұлдыздардың айналу жылдамдығы оның центрінен қашықтығына қарай өсетінін анықтады. Бұл құбылыс Ньютонның теориясына қайшы келеді және жаңа анықтамаларды талап етеді.

Айналу қисықтары бірнеше мақсатта қолданылады:

1. галактикалардың кинематикасын зерттеу үшін;
2. Галактикалардың эволюциясы мен өзара әрекеттесу рөлі туралы қорытынды жасау үшін;
3. Айналу қисығының күтілетін Кеплер пішінінен ауытқуларды қараңғы материяның мөлшері мен таралуына байланыстыру үшін;
4. Алыстағы галактикалардың айналу қисықтарын жақын жердегі галактикалармен салыстыру арқылы эволюцияны бақылау үшін.

Галактикалық айналу қисықтары – қараңғы материяның бар екендігінің дәлелі. Қазірде қараңғы материя мәселесі заманауи физикадағы ең күрделі мәселе. Жасырын массаның болуы туралы мәселені алғаш рет 1933 жылы Цвики көтерді, ол Кома кластеріндегі галактикаларды зерттей отырып, олардың өте жоғары жылдамдықты дисперсияға ие екенін анықтады. Вирустық теореманы қолдана отырып, Цвики шоғырдың жалпы массасын алды, ол көрінетін заттың массасынан 50 есе артық болып шықты. Осы нәтижеге сүйене отырып, Цвики кластердегі динамикалық тепе-теңдікті сақтау үшін көп мөлшерде көрінбейтін зат қажет деген қорытындыға келді. Галактикалар масштабында жасырын массаның болуы туралы қорытынды кейінірек жасалды.

Фриман (1970) HI-мен өлшенген NGC300 және M33 айналу қисықтары дискінің беттік тығыздығының экспоненциалды таралуы үшін күтілетін Кеплерлік төмендеуді көрсетпейтінін, сондықтан оларда массасы бойынша галактикалардың көрінетін массаларымен теңесетін және оптикалық галактиканың экспоненциалды таралуынан өзгеше тығыздық таралуы бар қосымша материя болуы керек деген тұжырымға келді. Ostriker және Peebles (1973) көрінетін спиральды галактикалар суық, өздігінен тартылатын дискілерде жолақтардың пайда болуына жол бермейтін массивті көрінбейтін сфералық компоненттермен қоршалған болуы керек деп ұсынды.

Жеке жұлдыздардың галактика центрінің айналасында айналу жылдамдығы тұрақты орбитаның болуы шартымен анықталады.

Айнымалы жылдамдық v_{circ} – гравитациялық потенциал орбиталық центрге қатысты симметриялы деп есептей отырып, галактикадағы жұлдыздың центрден белгілі бір қашықтықта дөңгелек орбита ұстауы керек жылдамдығы. Шиыршықты галактиканың дискісінде (оның осьтік симметриялы потенциалы бар) *айналмалы жылдамдық* деп диск жазықтығында дөңгелек траекториямен

қозғалатын жұлдыздың орбиталық жылдамдығын айтады. Егер жеделдетудің абсолютті мәні g -ге тең болса, онда айнымалы жылдамдық үшін бізде

$$\frac{v_{circ}^2}{R} \text{ болады,}$$

мұндағы R – орбитаның радиусы (ал R – дөңгелек орбита үшін тұрақты мән). Сондықтан симметрияны қабылдау кезінде

$$\frac{\partial \Phi}{\partial R} = \frac{v_{circ}^2}{R}.$$

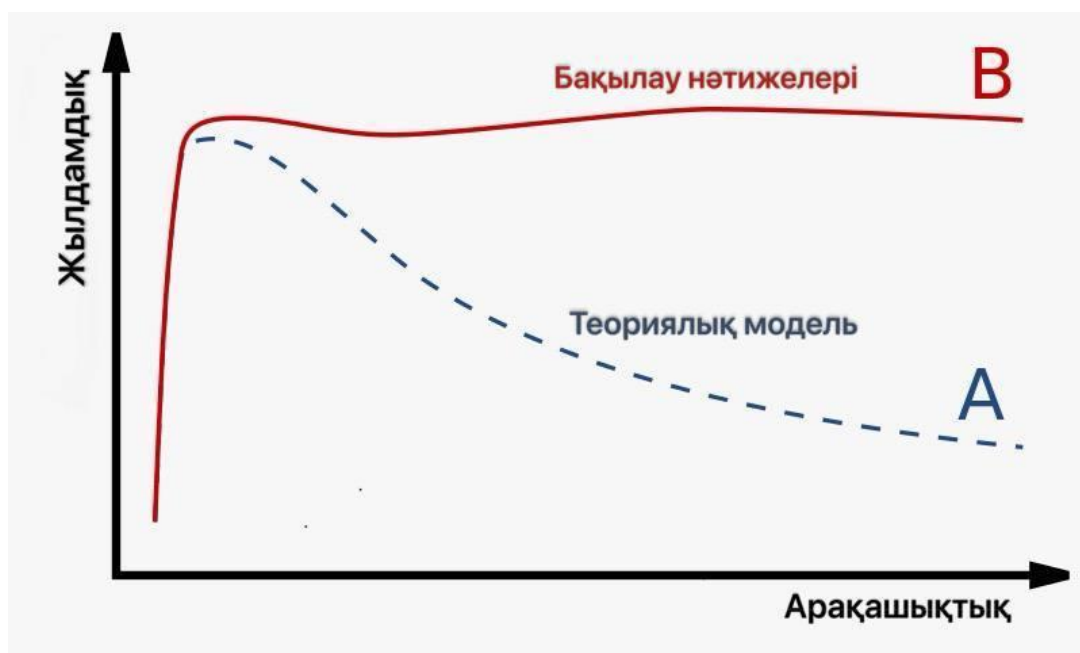
Айналу қисығы галактика үшін $v_{circ}(R)$ функциясы болып табылады. Егер $v_{circ}(R)$ R диапазонында өлшенетін болса, ол гравитациялық потенциал туралы өте маңызды ақпаратты береді. Бұл өз кезегінде галактикадағы массаның, соның ішінде қараңғы материяның таралуы туралы іргелі ақпаратты береді.

$$\frac{v_{circ}^2}{R} = \frac{GM(R)}{R^2}$$

$$v_{circ} = \sqrt{\frac{GM(R)}{R}}$$

Бұл сфералық симметрия болған жағдайда галактикалардағы массаның таралуы туралы маңызды ақпаратты айтуға қабілетті нәтиже.

Галактикалардың/жұлдыздардың айналу жылдамдығы/орбиталық жылдамдықтары массасының көп бөлігін орталықта алатын жұлдыздар/планета және планета немесе ай сияқты басқа орбиталық жүйелерде кездесетін ережелерді сақтамайды. Жұлдыздар өз галактикасының центрінің айналасында кең ауқымда бірдей немесе жоғары жылдамдықпен айналады. Керісінше, Кеплердің үшінші заңы бойынша планеталық жүйелердегі планеталардың және планеталарды айналып өтетін серіктердің орбиталық жылдамдықтары қашықтық артқан сайын азаяды. Бұл осы жүйелердегі массаның таралуын



көрсетеді. Жүйе шығаратын жарыққа негізделген галактикалардың массалық бағалаулары жылдамдықты бақылауды түсіндіру үшін тым төмен.

1-сурет. Галактикалардың айналу қисығы

Галактиканың айналу қисығы мәселесі галактикалардың байқалатын айналу қисықтары мен бақыланатын жарық материалымен байланысты орталықтан басым массаны болжаған теориялық болжам арасындағы сәйкессіздік болып табылады. Галактика массасының профильдері жұлдыздардың спиральдық таралуы мен жұлдыздық дискілердің масса-жарық қатынасы бойынша есептелсе, олар бақыланатын айналу қисықтарынан алынған массалар мен ауырлық заңына сәйкес келмейді. Бұл жұмбақтың шешімі - қараңғы материяның бар екендігі туралы гипотеза жасау және оның галактиканың орталығынан оның галосына дейін таралуы туралы гипотеза жасау болды.

Заманауи бақылау құралдарының пайда болуымен қараңғы гало мәселесі өзектілігін жоғалтқан жоқ. Дегенмен, жасырын массаның бар екендігін жоққа шығаратын және өзгертілген Ньютон динамикасын (MOND деп аталатын) пайдалана отырып, бақылау деректерін түсіндіретін бағыт бар екенін атап өткен жөн. Оны алғаш рет Милгром (1983) ұсынған және бірқатар ғалымдар қолдаған. Бірақ бұл гипотеза жасырын масса туралы мәселені толығымен жоймайды, өйткені оның бірқатар проблемалары бар. Атап айтқанда, галактика шоғырларының масштабында MOND үлгілерін бақыланатын деректермен сәйкестендіру үшін қосымша көрінбейтін материя қажет болды.

Қараңғы гало мәселесін зерттеу бірқатар жаңа сұрақтардың пайда болуына әкелді. Атап айтқанда, қараңғы гало мен көрінетін материя үлестерінің галактиканың жалпы массасына сандық қатынасы қандай екені, бұл қатынас қаншалықты әмбебап екені және бұл қатынас пен галактикалардың байқалатын қасиеттері арасында байланыс бар-жоғы әлі белгісіз.

Галактикалық айналу қисығына көрінетін және қараңғы материяның үлестері арасындағы сандық қатынас мәселесі

Қазіргі уақытта диск компоненті мен қараңғы гало массалық қатынасын бағалаудың бірнеше әдістері ұсынылған. Көптеген әдістер бақыланатын айналу қисығын зерттеуге негізделген, өйткені оның пішіні галактиканың негізгі құрамдас бөліктерінің (диск, дөңес және қараңғы гало) тығыздығының таралуын көрсетеді, ал айналу жылдамдығының сандық мәні берілген радиуста жалпы массаның шамамен болжамын алуға мүмкіндік береді. Әрбір құрамдас бөліктің массасының бағасын айналу қисығын оның құрамдас бөліктеріне бөлу арқылы алуға болады. Бірақ бұл мәселенің көптеген шешімдері болуы мүмкін, сондықтан беттік фотометрия бере алатын қосымша ақпаратты пайдалану қажет. Қосымша ақпарат болмаған жағдайда, бақыланатын айналу қисығымен үйлесімді немесе құрамдас параметрлері есептелген және бақыланатын айналу қисықтарының арасындағы айырмашылық минималды болатындай таңдалатын «best fit» тәсілін қолдануға болады. Екі жағдайда да радиалды шкала дискінің фотометриялық шкаласына жақын болу үшін қабылданады, жақсырақ спектрдің қызыл немесе жақын ИК диапазонында. Бірқатар жұмыстарда дискінің айналу

қисығына қосқан үлесі нөлге тең болатын минималды диск моделі де қолданылады.

Қараңғы галонның массалық үлесі мен диск бетінің жарықтығы (немесе тығыздығы) арасындағы байланыс

Бетінің жарықтығы (немесе тығыздық, өйткені ол жарықтылыққа пропорционалды) мен ореолдың салыстырмалы массасы арасындағы байланыстың болуын бірқатар авторлар ашты. Атап айтқанда, В және К фотометриялық деректері бар диск галактикаларының үлкен үлгісін, НІ желісінің енімен өлшенген айналу жылдамдығын және НІ ағындарын қарастыратын Завала және басқалардың (2003) мақаласы массамен корреляциялық негізгі байқалатын қасиет екенін атап көрсетеді. қараңғы ореол галактиканың массасы немесе жарқырауы емес, дәл дискінің бетінің жарықтығы (тығыздығы) болып табылады. Егер, галактиканың жарқырауы (жалпы массасы) неғұрлым төмен болса, дискінің айналу қисығына қосқан үлесі соғұрлым жоғары болады.

Айналудың жалпы жылдамдығына галонның үлесінің жұлдыздық дискінің орталық бетінің тығыздығына тәуелділігі алынған.

Шеткі галактикалар үшін зерттелген диск қалыңдығының радиалды шкалаға қатынасы мен беттің жарықтылығы арасындағы байланыс галонның массалық үлесі мен беттің жарықтығы арасындағы корреляция арқылы расталады. Галактикалардың ең жіңішке дискілері бетінің жарықтығы ең төмен («жалпақ» күйге дейін төмендетілген) объектілер болып табылады және салыстырмалы түрде ең жоғары қараңғы гало массасы бар галактикалардың қатарына жатады.

Әдебиеттер тізімі:

1. Sofue Y., Tutui Y., Honma M., Tomita A., Takamiya T., Koda J. and Takeda Y. Central Rotation Curves of Spiral Galaxies // The Astrophysical Journal. – 1999. – Vol. 523. – P.136–146.
2. The cored distribution of dark matter in spiral galaxies G. Gentile, P. Salucci, U. Klein, D. Vergani, P. Kalberla // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2004. – Vol. 351. – P.903–922.
3. Sofue Y., Rubin V. Rotation Curves of Spiral Galaxies // Annual Review of Astronomy and Astrophysics. – 2001. – Vol. 39. – P.137–174.