

## Дәріс 9.

### Гравитациялық линзалар

**Дәрістің мақсаты** – Астрономия мен космологиядағы гравитациялық линзалардың теориялық негіздерін, қалыптасу механизмдерін, бақылау көріністерін және практикалық маңызын қарастыру.

#### **Дәрістің жоспары:**

1. Гравитациялық линзалау құбылысының анықтамасы, оның түрлері.
2. Гравитациялық линзалардың құрылымы.
3. Гравитациялық линзалардың ашылуы.

#### **Гравитациялық линзалау құбылысының анықтамасы, оның түрлері**

Гравитациялық линзалау – бұл жарық траекториясының массивтік объектілердің гравитациялық өрісіндегі түзу сызықтан ауытқуы. Гравитациялық линза құбылысының 3 түрі бар [1]:

1. Эйнштейн сақинасы, доғалар және бірнеше кескіндер сияқты оңай ажыратылатын бұрмалануларды тудыратын күшті гравитациялық линзалау.
2. Линзаның артында орналасқан көздердің әлсіз бұрмалануын тудыратын әлсіз гравитациялық линзирлеу.
3. Пішіннің көрінетін бұрмалануын тудырмайтын, бірақ көзден түсетін жарық мөлшерін уақытша арттыруы немесе азайтуы мүмкін микролинзирлеу.

Гравитациялық линзалар идеясын алғаш рет Фридман Леметр 1924 жылы Альберт Эйнштейннің жалпы салыстырмалылық теңдеулерінің шешімдері негізінде ұсынған. Алайда, Леметр өз нәтижелерін жарияламады және оның жұмысы көп уақытқа дейін байқалмады. Гравитациялық линзалар ұғымын 1936 жылы швейцариялық физик және астроном Фриц Цвикки ғылыми қолданысқа енгізді. Ол жарықтың гравитациялық күшінің әсерінен қалай қисаюуы мүмкін екендігі туралы жазды [2].

Американдық астроном Джеррио Делл мен швейцариялық астроном Роберт Шнайдердің 1970 жылдардағы жұмыстары гравитациялық линзаларды теориялық түсінуге және практикалық қолдануға үлкен үлес қосты. Содан бері гравитациялық линзаларды бақылау астрономияда Әлемдегі қараңғы материя мен құрылымдарды зерттеудің маңызды құралына айналды.

Гравитациялық линзаларды 1979 жылы екі ағылшын астрономдары Д. Волш пен Р. Карсвелл ашты. Олар бір-бірінен тек " 6/1 бұрыштық қашықтықта орналасқан QSO 0957+561 A,B екі квазарын тапты. Атаудағы үш әріп квазарды білдіреді, келесідей төрт сан – оңға көтерілу  $a = 9^h 57^m$ , ал плюс белгісінен кейінгі үш сан-ауытқу 6 560; A және B әріптері екі кескіннің болуын көрсетеді. Бастапқыда бұл жұпты қос квазар құбылысымен түсіндіруге тырысты. Бұл жалпы гравитациялық өріспен байланысқан екі түрлі квазар. Әлемдегі мұндай нысандар сирек емес [3].

Егжей-тегжейлі талдау бұл болжамның бақылау фактілеріне қарама-қайшы екенін көрсетті. Осыдан кейін астрономдар гравитациялық линзалар құбылысын еске түсірді. Екі кескіннің спектрлері, олардың қызыл ығысулары

мүлдем бірдей болды, бұл құбылыстың гравитациялық-линзалық интерпретациясына негіз болды. Астрономдардың соңғы күмәндері галактика-линзаны ашқан кезде жоғалды. Бақылауға сәйкес, А және В компоненттері арасындағы қашықтық  $6,1/1$  құрайды, G галактикасы в объектісіне жақын орналасқан.

Толық теориялық есептеулердің арқасында ғалымдар байқалған квазарларды гравитациялық линзаның әсерінің көрінісімен түсіндіре алды, яғни бір квазардың екі бейнесі байқалатыны белгілі болды. Жердегі бақылаушы мен квазар арасында жатқан линза галактикасының ашылуы жасалған интерпретацияны біржола растады. Осы уақытқа дейін жалғасып келе жатқан осы ғарыштық құбылысты белсенді зерттеу басталды.

XX ғасырдың соңғы онжылдығында жұлдыздағы жұлдыздың гравитациялық линзасы құбылыс кеңінен зерттеле бастады. Бұл жағдайда жұлдыз-линза мен жарық көзі - жұлдызының арасындағы бұрыштық қашықтық доғаның миллисекундына тең болды. Осыған байланысты құбылыс микролинзирлеу деп аталды [1].

Гравитациялық линзалар – космология мен жалпы астрономия үшін ең қызықты зерттеу нысандарының бірі. Космологияда олар жасырын материяны әртүрлі массалық масштабтарда - планеталық массалардан галактикалардың суперкластерлік массаларына дейін өлшеуге мүмкіндік береді. Олар галактиканың сыртқы бөліктерін-линзаларды зерттеуге көмектесетін құрал бола алады, сонымен қатар Галактика кластерлері туралы ақпарат береді. Олар "үлкейткіш линзалар" ролін атқара алады, олар арқылы бақылаушы үлкен бұрыштық үлкейтуі бар алыстағы квазардың құрылымын көреді. Космологияда гравитациялық линзалар космологиялық қашықтықты өлшеудің ең дәл әдістерінің бірі - "стандартты метрді" анықтауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, үлкен массаға ие оқшауланған қара құрдымдар және т.б. сияқты "экзотикалық" гравитациялық линзалардың ашылуы, қазіргі физика болжаған күшті гравитациялық өрісі бар объектілерді зерттеуге мүмкіндік береді [1, 2].

### **Гравитациялық линзалардың құрылымы**

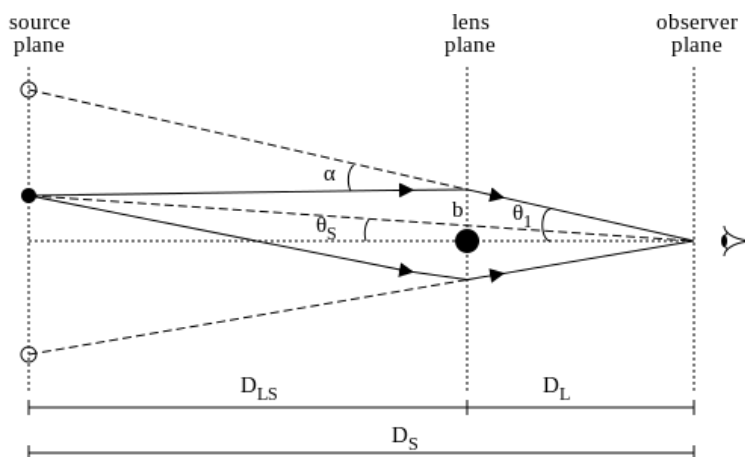
Табиғатта төрт негізгі өзара әрекеттесу белгілі: электромагниттік, әлсіз, күшті және гравитациялық. Осылардың ішіндегі ең белгілі өзара әрекеттесу электромагниттік әрекеттесу болып табылады. Электромагниттік өзара әрекеттесу атомдағы ядро мен электрон, оның тасымалдаушылары-фотондар арасындағы байланысқа жауап береді, оларды зерттеу бізге әлем туралы көптеген ақпарат береді. Бұл өзара әрекеттесу қатты денелердегі серпімділік күштері мен үйкеліс күштерін, молекулалардағы жеке атомдардың байланысы мен заттардағы жеке молекулалардың байланысын қамтамасыз етеді.

Электрлік өзара әрекеттесу тек электрлік зарядталған денелер арасында пайда болады, ал бейтарап денелер арасында болмайды. Әлсіз өзара әрекеттесу – өте кішкентай ара-қашықтықта тиімді жұмыс істей бастайды. Ал, күшті өзара әрекеттесу, ядродағы протон мен нейтрондарды байланыстырады және ядролардың тұрақтылығына әсер етеді.

Физикалық өзара әрекеттесулердің соңғы түрі – гравитациялық өзара әрекеттесу бар. Бұл әмбебап әрекеттесу болып табылады. Барлық бөлшектер,

олардың қасиеттеріне қарамастан, гравитациялық өріс арқылы бірдей үдетіледі. Гравитация күшінің бұл қасиеті – жалпы салыстырмалылықтың негізгі принципі бойынша, гравитациялық өрісте барлық денелер бірдей үдеу алатыны туралы эквиваленттілік принципінде көрініс тапты. Оның әрекет ету радиусы шексіз, ол зертханалық масштабта, біздің масштабта, Күн жүйесі, тіпті бүкіл әлем масштабында әсер етеді.

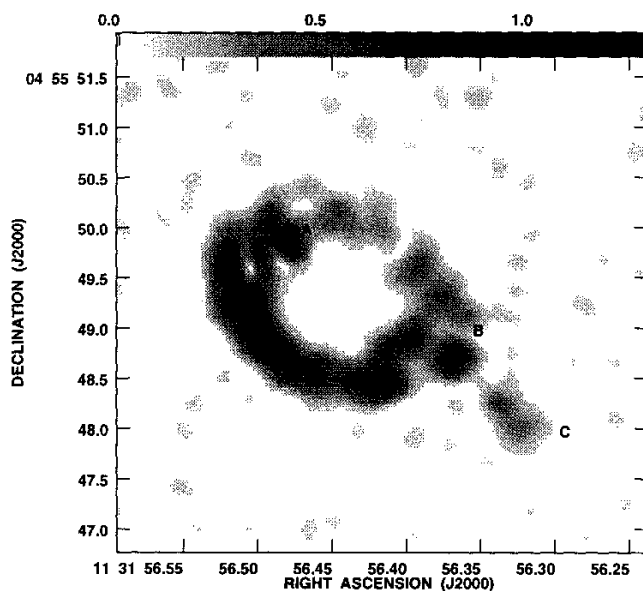
Мысалы, жасанды Жер серігі, электрон және фотон Жерге 9,8 м-ге тең үдеумен тартылады деп айтуға болады. Олар бірдей тартылады, бірақ әртүрлі траекториямен қозғалады. Әрбір дене қозғалатын қисықтың пішіні оның бастапқы жылдамдығының шамасы мен бағытына байланысты. Жер серігі Жердің айналасындағы эллипс бойымен немесе гиперболалық траектория бойынша қозғала алады. Жердің жанынан ұшатын дене үшін, траектория түзу сызыққа неғұрлым жақын болса, оның жылдамдығы соғұрлым үлкен болады. Табиғаттағы ең үлкен жылдамдық – жарық. Сондықтан фотондар түзу сызыққа жуық траектория бойымен қозғалады. "Жуық" – траектория әлі де түзу емес екенін білдіреді. Ол сәл қисық. Егер осындай траекторияға екі тангенс сызығын сызсақ, онда тангенстердің бірі тартатын денеге дейін, ал екіншісі кейін орналасса, онда олар белгілі бір бұрышпен қиылысады. Бұл бұрыш өте кішкентай. Фотон траекториясының орталық объектке жақын қашықтықта қисаюын А. Эйнштейн болжаған, ал оны алғаш рет А.Эддингтон Күн тұтылуы кезінде анықтаған болатын. Күннің жанынан өтіп бара жатқан алыстағы жұлдыздан шыққан жарық сәулесі небәрі 1,75" ауытқыған екен. А. Эддингтон күн тұтылуы кезінде жұлдыздардың күн дискісіне жақын орналасуын өлшеді (күн тұтылудан тыс жұлдыздар көрінбейді) және оларды күннің гравитациялық өрісі олардың сәулелерінің траекториясын бұрмаламайтын жылдың басқа уақыттарында түнде өлшенген шынайы позициялармен салыстырды. Осы салыстырудан соң А. Эйнштейн болжаған шамамен жақсы үйлесетін әсердің шамасын алды. Жұлдыздың әртүрлі жерлерінен өтіп, түзу жолдан ауытқыған екі жарық сәулесі қиылысуы керек. Қиылысу нүктесінде тұрған бақылаушы сол алыстағы жұлдыздың екі бейнесін көреді. Бұл шын мәнінде, гравитациялық линзаның әсері [4].



Сурет-1. Гравитациялық линзаның геометриясы.

## Гравитациялық линзалардың ашылуы

Гравитациялық линзаның әсері алғаш рет галактикадан тыс нысандарда ашылды. Бірінші және қазір ең жақсы зерттелген линза - QSO 0957+561 а,в. QSO 0957 + 561 а объектісінің ашылуынан жиырма жыл ішінде көптеген жаңа гравитациялық линзалар табылды. Қазір олардың жалпы саны 50-ге жақындады және үнемі өсіп келеді.



Сурет-2. Гравитациялық линзалау (Эйнштейн сақинасы).

Сақина тәрізді құбылысты алғаш рет Орест Хволсон 1924 жылғы қысқа мақалада атап өтті, онда автор бір түзу сызықта көздің, объектінің-линзаның және бақылаушының орналасуы кезінде пайда болатын "гало эффектісіне" талдау жасаған болатын. Эйнштейн бұл әсерді 1936 жылы Чехословакия инженері Р.В. Мандлдың хатымен мақаласында атап өтті, сонымен бірге мұндай құбылысты объектілер мен бақылаушының бір түзу сызықта дәл орналасуы және бақылау құралдарының төмен ажыратымдылығы қажет болғандықтан байқау мүмкін емес деп мәлімдеді. Алайда, Эйнштейн тек жұлдыздардың жарық линзаларын қарастырды. Бірақ Эйнштейн сақинасының үлкен болуына байланысты галактикалармен немесе қара құрдымдармен линзалауды байқау оңайырақ [4].

Қазіргі уақытта гравитациялық линзалаудың жүздеген құбылыстары белгілі. Олардың арасында диаметрі доғалық секундқа дейінгі Эйнштейн сақиналарының фрагменттері бар. Жалпы жағдайда объект-линзадағы массаның таралуы мүлдем осимметриялы емес немесе көзі, линза мен бақылаушы қатаң түрде бір түзу сызықта болмағандықтан, біз идеалды Эйнштейн сақинасын байқамаймыз. Сақиналардың көпшілігі радио диапазонында ашылды.

Hubble ғарыштық телескопының көмегімен C1 0024+17 галактикалар шоғырындағы қараңғы материяның "сақинасының" бейнесі алынды (Сурет-2). Бүгінгі таңда бұл қараңғы материяның бар екендігінің ең сенімді және көрнекі

дәлелдерінің бірі болып табылады [4]. Бұл жағдайда жасырын масса гравитациялық линзаның рөліне қатысады, бұл бірдей объектілерден жалған кескіндердің болуын және бастапқы көздің жарықтығын жоғарылатуды түсіндіреді.

**Әдебиеттер тізімі:**

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. — Издание 7-е, исправленное. — М.: Наука, 1988. — 512 с.
2. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. — М.: Мир, 1977. — Т. 3. — С. 218. — 510 с.
3. Рис М., Руффини Р., Уилер Дж. Чёрные дыры, гравитационные волны и космология. М.: Мир, 1977
4. Захаров А. Ф. Гравитационные линзы и микролинзы. — М.: Янус-К, 1997