

Дәріс 3.

Доплер эффектісі, Хаббл заңы

Дәрістің мақсаты – Доплер эффектісі мен Хаббл заңының физикалық құбылыстарын, олардың принциптерін, астрофизика мен космологиядағы қолданылуы мен маңызын зерттеу және түсіну

Дәрістің жоспары:

1. Доплер эффектінің анықтамасы.
2. Доплер эффектінің жұмыс істеу принципін түсіндіру.
3. Хаббл заңы.
4. Доплер эффектісі мен Хаббл заңы арасындағы байланыс.

Доплер эффектісі – электромагниттік сәулелену параметрлері сол сәулеленудің көзі мен қабылдағышының жылдамдығы мен бағытына байланысты өзгеруі болып табылады [1]. Кейде құбылыстың физикалық мәнін нақтылау үшін жарық жылдамдығының екі параметріне – толқын ұзындығы мен сәулелену жиілігіне сәйкес доплердің толқындық немесе жиілік әсері туралы айтылады. Доплер эффектісі бақылау астрономиясында маңызды орынға ие. Себебі, осының арқасында біздің галактика шегінде әр түрлі объектілердің спектрлеріндегі жеке элементтердің спектрлік сызықтарының ығысу шамасы мен бағыты бойынша олардың қозғалысының бағыты мен жылдамдығын анықтауға мүмкіндік туды, нәтижесінде бүкіл галактиканың құрылымын модельдеуге мүмкіндік берді. Сонымен қатар, Доплер эффектісі күннің, бізге жақын жұлдыздардың және бүкіл галактикалардың айналу жылдамдығын сенімді түрде бағалауға мүмкіндік береді [1].

Доплер эффектісі дыбыс көзі немесе бақылаушы бір-біріне қатысты қозғалғанда пайда болады. Ол дыбыс көзі немесе бақылаушы бір-біріне қатысты қозғалғанда еститін дыбыс жиілігінің өзгеруін түсіндіреді.

Егер толқын көзі ортаға қатысты қозғалса, онда толқындар арасындағы қашықтық (толқын ұзындығы) қозғалыс жылдамдығы мен бағытына байланысты болады. Егер көз қабылдағышқа қарай қозғалса, яғни ол шығаратын толқынға жетсе, онда толқын ұзындығы азаяды, егер ол алынып тасталса – толқын ұзындығы артады:

$$\lambda = \frac{2\pi(c-v)}{\omega_0}, \quad (1)$$

Мұндағы ω_0 -бұрыштық жиілік, c -толқындардың ортадағы таралу жылдамдығы, v -толқын көзінің ортаға қатысты жылдамдығы.

Дыбыс көзі бақылаушыға қарай жылжыған кезде дыбыс толқындары қысылып, дыбыс жиілігі артады. Бұл дегеніміз, біз жоғары дыбыс жиілігін естиміз, бұл жоғары тон ретінде қабылданады.

Керісінше, дыбыс көзі бақылаушыдан қозғалғанда, дыбыс толқындары созылып, дыбыс жиілігі төмендейді. Бұл дегеніміз, біз төменгі дыбыс жиілігін естиміз, олар төменгі тон ретінде қабылданады.

Доплер эффектісі жарық толқындарында да көрінеді, бірақ бұл жағдайда біз түстердің ауысуы туралы айтамыз. Жарық көзі немесе бақылаушы бір-біріне қатысты қозғалғанда, жарықтың толқын ұзындығы өзгереді, бұл біз көріп отырған түстің өзгеруіне әкеледі [1].

Доплер эффектісінің бірнеше қасиеттері бар:

-Жиіліктің өзгеруі

Доплер эффектінің негізгі қасиеті – дыбыс көзі мен бақылаушы бір-біріне қатысты қозғалған кезде толқын жиілігінің өзгеруі. Егер дыбыс көзі мен бақылаушы бір-біріне қарай қозғалса, онда толқын жиілігі артады (көк ығысу), ал егер олар бір бағытта қозғалса, жиілік азаяды (қызыл ығысу).

-Толқын ұзындығының өзгеруі

Жиіліктің өзгеруіне байланысты қасиеті-толқын ұзындығының өзгеруі болып табылады. Көз бен бақылаушының бір-біріне қатысты қозғалысы кезінде толқын ұзындығы да өзгереді. Егер жиілік жоғарыласа, онда толқын ұзындығы азаяды және керісінше.

-Жылдамдыққа тәуелділік

Доплер эффектісіндегі жиілік пен толқын ұзындығының өзгеруі дыбыс көзінің және бақылаушының жылдамдығына байланысты. Қозғалыс жылдамдығы неғұрлым көп болса, жиілік пен толқын ұзындығының өзгеруі соғұрлым көп болады.

-Дыбыс жылдамдығына немесе жарыққа тәуелділік

Доплер эффектісі ортадағы дыбыс немесе жарық жылдамдығына да байланысты. Егер ортадағы дыбыс немесе жарық жылдамдығы үлкен болса, онда жиілік пен толқын ұзындығының өзгеруі үлкен болады [2].

Доплер эффектісінің қолданылуы

Доплер эффектісі - ғаламның бастауы (Үлкен жарылыс және қызыл ығысу) туралы қазіргі теориялардың ажырамас бөлігі болып табылады. Бұл принцип астрономияда жұлдыздардың көру сызығы бойымен қозғалу жылдамдығын (бақылаушыдан жақындау немесе алыстау) және олардың ось айналасында айналуын, планеталардың айналу параметрлерін, Сатурн сақиналарын (олардың құрылымын нақтылауға мүмкіндік берді), Күн фотосферасындағы турбулентті ағындарды, спутниктік траекторияларды өлшеу үшін, термоядролық реакцияларды бақылау, содан кейін физика мен техниканың әртүрлі салаларында (ауа-райын болжау кезінде, әуе навигациясында) көптеген қолданысқа енген [1]. Доплер эффектісі заманауи медицинада да кеңінен қолданылады: көптеген ультрадыбыстық диагностикалық құрылғылар осы эффектке негізделген.

Хаббл заңының ашылу тарихы

Ғаламның бақылауға болатын бөлігінің масштабындағы бірегей табиғи құбылыс – біздің галактикадан алыс сәулелену көздеріндегі барлық элементтердің спектрлік сызықтарының қызыл ығысуы, жұлдызды аспанның барлық бағыттарында байқалды. Бұның барлығын Эдвин Хаббл алғаш рет

өткен ғасырдың басында өлшеу астрономиясындағы технологиялық прогресстің арқасында орнатқан болатын. Бұл құбылыстың ерекшелігі – шамалар⁴ біз байқайтын ғарыш объектілеріне дейінгі қашықтықтың ұлғаюына пропорционалды түрде табиғи өсуі. Дәл осы жағдай құбылыстың табиғаты туралы әлі күнге дейін жалғасып келе жатқан пікірталастың бастамасы болды, өйткені бұл мәселені шешу ғаламның құрылымы мен эволюциясы туралы тұжырымдамалар мен теориялардың қалыптасуына тікелей байланысты.

Хаббл Заңы – Әлемнің кеңеюін сипаттайтын астрономияның негізгі заңдарының бірі. Оны 1929 жылы американдық астроном Эдвин Хаббл және оның әріптесі Милтон Хаммет ашты [2].

Хаббл Заңы Әлемдегі галактикалар бір-бірінен алыстап бара жатқанын және галактика бізден неғұрлым алыс болса, соғұрлым тезірек алыстайтынын түсіндіреді. Бұл ғаламның кеңеюін білдіреді.

Хаббл заңы галактикалардың қашықтық жылдамдығы олардың қашықтығына пропорционал екенін айтатын Губблер Заңымен тұжырымдалған. Хаббл заңының формуласы келесідей:

$$v = H_0 r, \quad (2)$$

мұндағы v -галактиканың жылдамдығы, r -оған дейінгі қашықтық, H_0 -пропорционалдылық коэффициенті, бүгінде Хаббл константасы деп аталады. Алайда, бақылаушылардың қазіргі жұмысында бұл тәуелділік келесі түрде қолданылады:

$$cz = H_0 r, \quad (3)$$

мұндағы c -жарық жылдамдығы, ал z -қызыл ығысу. Сондай-ақ, r -барлық заманауи космологиялық жұмыстардағы қашықтықтың стандартты белгісі болып табылады.

Сонымен қатар, ғылыми жұмыстарда Хаббл заңының келесідей үшінші түрін кездестіруге болады:

$$H = \frac{\dot{a}(t_1)}{a(t)}, \quad (4)$$

мұндағы a -уақытқа тәуелді масштабты фактор, ал \dot{a} -оның уақыт бойынша туындысы. Бұл заңның көмегімен әлемнің кеңею уақытын анықтауға болады:

$$t_H = \frac{r}{v} = \frac{1}{H_0}. \quad (5)$$

Хаббл заңын 1929 жылы американдық астроном Эдвин Хаббл ашты. Хаббл Заңының ашылуындағы маңызды сәттердің бірі галактикалардың қызыл ығысуын өлшеу болды. Қызыл ығысу – бұл ғаламның кеңеюіне байланысты

алыстағы объектілердің жарығы спектрдің қызыл бөлігіне ауысатын құбылыс. Хаббл және оның әріптестері бірнеше галактикалар үшін қызыл ығысуды өлшей алды және оның галактикаларға дейінгі қашықтыққа қарай өсетінін анықтады.

Осы бақылауларға сүйене отырып, Хаббл маңызды жаңалығын тұжырымдады – ол галактикалардың бір-бірінен алыстап бара жатқанын анықтады, ал бұл өз кезегінде ғаламның кеңеюін көрсетеді деп болжады, яғни галактика бізден неғұрлым алыс болса, соғұрлым ол тезірек алыстайды деп тұжырымдады [3].

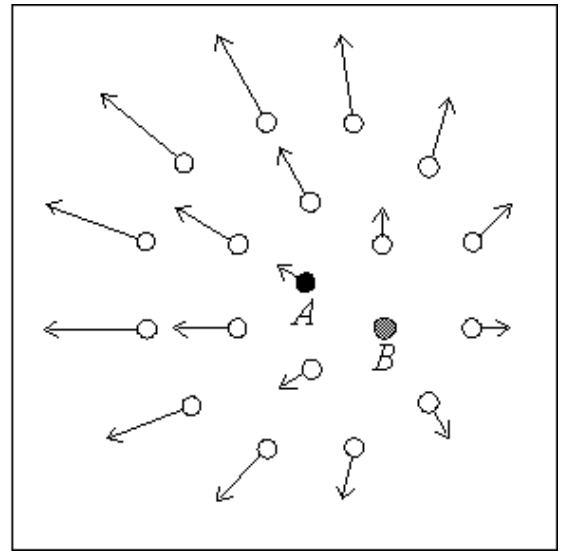
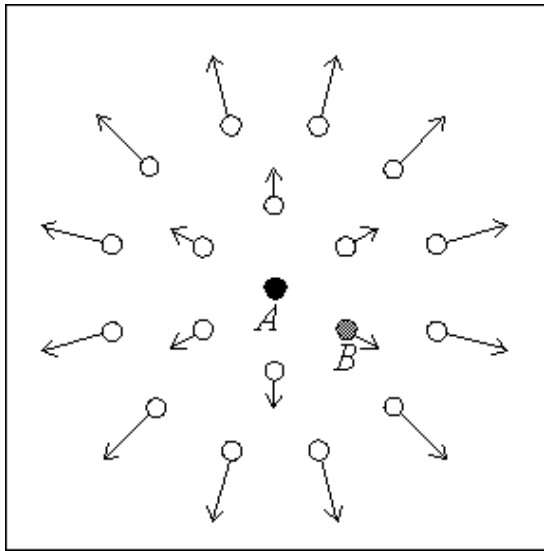
Өзінің гипотезасын растау үшін Хаббл қосымша бақылаулар жүргізіп, көбірек деректер жинады. Ол көптеген галактикалар үшін қызыл ығысуды өлшеп, галактикаларға дейінгі қашықтық пен олардың қызыл ығысуы арасында тікелей байланыс бар екенін анықтады. Бұл Хаббл Заңын тұжырымдауға негіз болды.

Хаббл Заңы галактикалардың алыстау жылдамдығының олардың бізден қашықтығына тәуелділігін білдіреді. Маңыздысы, бұл заң бақылау болып табылады және бақылаушының ғаламдағы орнына байланысты емес (Сурет-1). Басқаша айтқанда, бақылаушы ғаламда қай жерде орналасқанына қарамастан, ол әрқашан галактикалардың одан қашықтығына пропорционалды белгілі бір жылдамдықпен алыстап бара жатқанын байқайды [2].

Бұл бақылау Әлемнің барлық бағытында біркелкі кеңеюі туралы идеяны көрсетеді. Хаббл Заңының контекстінде бақылаушыны ғаламның кез келген нүктесінде орналасады деп санауға болады және ол әрқашан біздің галактикалық топтан (кластерден) тыс галактикалар одан қашықтыққа пропорционалды белгілі бір жылдамдықпен қозғалатынын анықтайды.

Осылайша, Хаббл заңының галактиканың орналасуынан тәуелсіздігі Әлемнің кеңеюінің осы байқалатын құбылысының әмбебаптығын көрсетеді.

Хаббл заңының ашылуы астрономия мен космология үшін үлкен маңызға ие болды. Бұл Әлемнің кеңейіп келе жатқанын анықтауға және оның эволюциясының модельдерін ұсынуға мүмкіндік берді. Хаббл заңы сонымен қатар Әлемнің пайда болуын түсіндіретін үлкен жарылыс теориясының дамуына негіз болды.



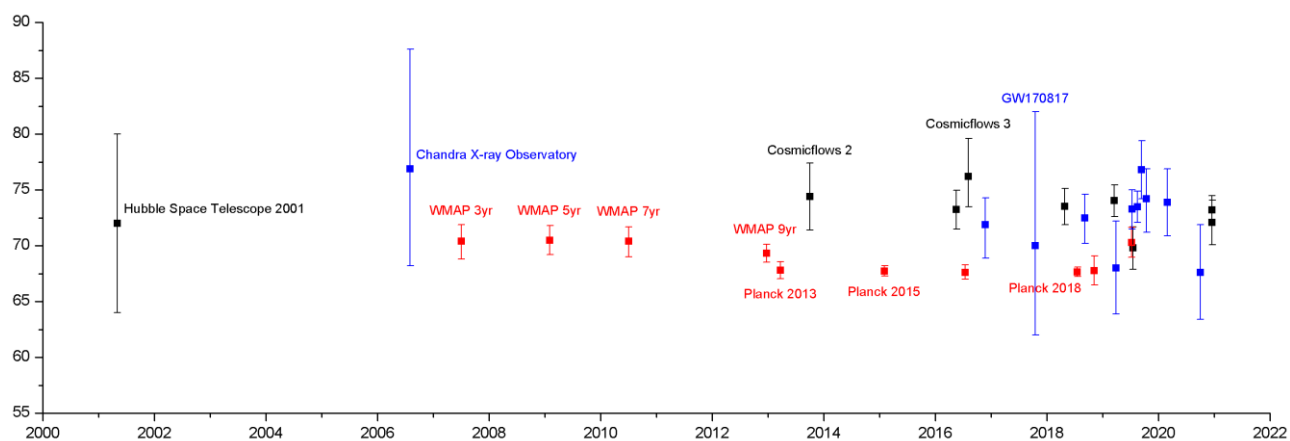
Сурет-1. Хаббл Заңының бақыланатын галактиканың орналасуынан тәуелсіздігін бейнелейтін график. Сол жақта: бақылау нүктесі- А галактикасы, оң жақта: бақылау нүктесі- В Галактикасы.

Хаббл тұрақтысы

Егер де кеңеюі процесі біркелкі түрде жүрсе, Хаббл тұрақтысы азаюы керек және оны белгілеу кезінде "0" индексі H_0 шамасы қазіргі дәуірге жататынын көрсетеді [2, 3]. Хаббл тұрақтысының кері мәні бұл жағдайда кеңею басталған сәттен бастап өткен уақытқа, яғни ғаламның жасына тең болуы керек.

H_0 мәні қызыл ығысудың көмегінсіз (ең алдымен ең жарқын жұлдыздар немесе цефеидтер бойынша) өлшенетін галактикаларды бақылау арқылы анықталады. H_0 тәуелсіз бағалауларының көпшілігі бұл параметр үшін 1 Мпс-ке 66-78 км/с мәнін береді. Бұл дегеніміз, 100 Мпс қашықтықта орналасқан галактикалар бізден 6600-7800 км/с жылдамдықпен алыстайды. Ал, 2019 ж. Хаббл ғарыштық телескопында оларда байқалған цефеидтердің жарқырауы бойынша галактикаларға дейінгі қашықтықты есептеу арқылы алынған мәндер $74,03 \pm 1,42$ (км/с)/Мпк (Сурет-2), ал Планк ғарыштық обсерваториясындағы релативті сәулеленудің параметрлерін өлшеу арқылы алынған мәндер 2018 жылы $67,4 \pm 0,5$ (км/с)/Мпс мәнін көрсетті [2].

Хаббл тұрақтысын бағалау мәселесі ғаламның кеңеюіне байланысты космологиялық жылдамдықтардан басқа, галактикалардың бірнеше жүз км/с (галактикалардың массивтік кластерлерінің мүшелері үшін — 1000 км/с-тан асатын) өзіндік (пекулярлық) жылдамдықтары бар екендігімен қиындайды. Бұл Хаббл Заңының 10-15 млн. жарық жылынан жақын объектілер үшін, яғни, тек қашықтығы қызыл ығысусыз ең сенімді түрде анықталған галактикалар үшін нашар орындалуына немесе мүлдем орындалмауына әкеледі.



Сурет-2. Соңғы 20 жылдағы Хаббл тұрақтысының ең белгілі бағалаулары мен өлшемдері.

Әдебиеттер тізімі:

1. А. В. Засов., К. А. Постнов. Общая астрофизика. — Фрязино: Век 2, 2006. — С. 421—432. — 496 с.
2. С.Вайнберг. Космология. — Москва: УРСС, 2013. — С. 21—81. — 608 с.
3. Сажин М.В. Современная космология в популярном изложении. — М.: Едиториал УРСС, 2002. — 240 с.