

Жұлдыздарда жүретін термоядролық процесстің моделін жасау

ЖАРИЯЛАНДЫ 04.11.2025	ТІРЕК СӨЗДЕР жұлдыз, плазма, Термоядролық реакция, термоядролық синтез, энергия, ядро	СІЛТЕМЕ https://bilimger.kz/183682/
--------------------------	--	--

Асқар Даниал Ғаниұлы, Емісбек Ақарыс Жалынұлы

М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті,

6B01502 «Физика мұғалімдерін даярлау» мамандығының 4-курс студенттері

Ғылыми жетекші – Нурбердиев Алимардан Тасполатович

М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті,

«Физика және Информатика» кафедрасының оқытушысы, магистр

Аңдатпа. Ғылыми мақалада жұлдыздардың негізгі энергия көзі болып табылатын термоядролық синтез процесінің физикалық негіздері қарастырылып, оның теориялық моделі ұсынылады. Жұмыстың мақсаты – күн және басқа да жұлдыздардағы энергия бөлінуінің негізгі механизмдерін – протон-протон (p-p) циклі мен CNO циклін талдау арқылы осы процестердің модельдік сипаттамасын жасау. Зерттеу барысында термоядролық реакциялардың басталуына қажетті жоғары температура мен қысым жағдайлары, кулондық кедергіден өту мүмкіндігі және жердегі басқарылатын термоядролық синтезді жүзеге асыру үшін жұлдыздық процестерді модельдеудің маңыздылығы талқыланады. Нәтижелер қорытындысы бойынша термоядролық синтез физикасын тереңірек түсінуге және атом энергетикасының болашағына бағытталған зерттеулерге негіз болады.

Кілттік сөздер: Термоядролық реакция, термоядролық синтез, плазма, энергия, ядро, жұлдыз.

Ғаламдағы барлық өмірдің және энергетикалық процестердің негізі — жұлдыздар. Жұлдыздардың, соның ішінде біздің Күніміздің, ұзақ уақыт бойы тұрақты энергия бөлуі термоядролық синтез реакциялары арқылы жүзеге асады. Бұл процестерде жеңіл атом ядролары (негізінен сутек) бірігіп, ауыр ядроларға (гелий) айналады және орасан зор энергия бөлінеді. Жұлдыздардағы бұл табиғи құбылысты зерттеу және модельдеу тек

астрофизика үшін ғана емес, сонымен қатар жердегі энергетикалық проблемаларды шешудегі басты мақсат — **басқарылатын термоядролық синтезді** (БТС) жүзеге асыру үшін де өте маңызды.

Жердегі БТС-тің теориялық негіздерін қалауда И.Е. Тамм, А.Д. Сахаров, Л.А. Арцимович сияқты ғалымдардың үлесі зор болды [1,3,4]. Олардың еңбектері магниттік тұтқындау (Токамак, Стелларатор) қағидаларына негізделген. Алайда, жұлдыздық жағдайлардағы табиғи синтез процестері әлдеқайда тұрақты және тиімді. Сондықтан жұлдыздардағы термоядролық процестердің моделін құру арқылы біз олардың энергетикалық механизмін, жұлдыздың эволюциясын және плазма физикасының терең заңдылықтарын түсінеміз.

Мақаланың мақсаты – жұлдыздарда жүретін негізгі термоядролық процестерді талдау және осы процестерді сипаттайтын модельдің негізгі элементтерін көрсету.

Жұлдыздардағы термоядролық синтездің физикалық негіздері

Жұлдыздық термоядролық синтездің жүруі үшін екі негізгі шарт қажет:

1. **Өте жоғары температура:** 10^7 Кельвиннен жоғары. Бұл сутегі ядроларының (протондардың) Кулондық тебіліс күшін жеңіп, бір-біріне жақындауы үшін қажетті кинетикалық энергияны қамтамасыз етеді [4].
2. **Жоғары қысым мен тығыздық:** Жұлдыздың гравитациялық қысымы 10^{11} атмосферадан асатын тығыздықты тудырады. Бұл ядролардың соқтығысу ықтималдығын арттырады.

Берілген жағдайларда материя плазма күйінде болады, дегенмен, Кулондық кедергіні тек жоғары температурамен толық жеңу мүмкін емес. Бұл жерде **кванттық туннельдеу эффектiсi** маңызды рөл атқарады. Ядролардың энергиясы Кулондық бөгетті толық жеңуге жетпесе де, кванттық механика заңдары бойынша олардың бөгет арқылы «өткізіліп», синтезделу ықтималдығы сақталады.

Жұлдыздардағы негізгі синтез циклдері:

Протон-Протон (p-p) циклінің моделі

Күн сияқты массасы кіші және орташа жұлдыздардың негізгі энергия көзі – протон-протон (p-p) циклі. Бұл циклдің бастапқы температурасы шамамен 1.5×10^7 К құрайды.

Реакция моделінің негізгі қадамдары:

1. **Бірінші қадам (баяу):** Екі протон бірігіп, дейтерий ядросын, позитронды (e^+) және нейтриноны (ν) түзеді. Бұл әлсіз әсерлесу арқылы жүретін ең баяу қадам.



2. **Екінші қадам (тез):** Дейтерий ядросы басқа протонмен бірігіп, жеңіл гелий ядросын (^3He) және гамма-квантты (γ) түзеді.



3. **Үшінші қадам (негізгі тармақ):** Екі жеңіл гелий ядросы соқтығысып, тұрақты гелий (^4He) ядросын және екі бос протонды бөліп шығарады.



Циклдің жалпы нәтижесі: Төрт сутегі ядросы бір гелий ядросына, екі позитронға, екі нейтриноға және энергияға айналады. Бөлінетін энергияның мөлшері Эйнштейннің масса мен энергияның эквиваленттілігі заңына ($E=mc^2$) негізделген, яғни реакцияға дейінгі және кейінгі массалар айырмасы энергияға айналады.

Көміртек-Азот-Оттегі (CNO) циклі

Массасы Күннен әлдеқайда үлкен жұлдыздардағы негізгі процесс — CNO циклі. Бұл циклдің басталуы үшін қажетті температура р-р цикліне қарағанда жоғары, шамамен 1.7×10^7 К жоғары. Бұл циклде көміртек (^{12}C), азот (^{14}N) және оттегі (^{16}O) ауыр элементтері **катализатор** ретінде әрекет етеді, яғни олар реакция барысында тұтынылмайды, тек сутегінің гелийге айналуын жеделдетеді.

Модельдеудің жердегі термоядролық реакторлармен байланысы

Жұлдыздық термоядролық синтез модельдерін зерттеу жердегі басқарылатын термоядролық энергетиканы дамытудың негізгі кілті болып табылады [4]. Жердегі реакторлар үшін (мысалы, ITER жобасы) ең тиімді реакция дейтерий (^2D) мен тритийдің (^3T) синтезі болып саналады:



Бұл реакция р-р цикліне қарағанда әлдеқайда төмен температурада басталады, бірақ тұрақты реакцияны ұзақ уақыт бойы ұстап тұру - **плазманы магниттік тұтқындау** арқылы шешілетін күрделі мәселе.

Модельдеудің маңыздылығы:

- **Плазманың тұрақтылығын зерттеу:** жұлдыздардың ядросында плазма өте тұрақты. Бұл тұрақтылықты қамтамасыз ететін гидродинамикалық және магниттік процестерді модельдеу Токамактардағы плазманың тұрақсыздығын (турбуленттілік) жеңуге көмектеседі.
- **Энергия шығаруды есептеу:** жұлдыздық модельдер белгілі бір масса мен құрамдағы жұлдыздың қанша энергия бөлетінін дәл есептеуге мүмкіндік береді. Бұл білім БТС қондырғыларының (мыс., $Q>1$ - энергия шығынынан көп энергия алу) жобаларын құруда қолданылады.

- **Қауіпсіздік және экономика:** жұлдыздық үлгілерді зерттеу негізінде жасалған плазма физикасы туралы терең білім, басқарылатын синтез реакторларының қауіпсіздігін (мысалы, нейтрондық ағынды басқару) және экономикалық тиімділігін арттыруға негіз болады [1,2].

Экспериментті жүргізу қадамдары

1. Жүйені қосу: жүйе вакуумға толтырылғаннан кейін, біз жоғары кернеуді қостық. Бұл ретте орталық электродқа міндетті түрде теріс (минус) заряд берілді. Себебі оң зарядталған атом ядролары (иондар) теріс электродқа қарай тартылып, орталықта шоғырлануы керек.
2. Плазманы көру: кернеуді біртіндеп көтерген кезде, вольфрам сферасының айналасында жарқыраған көгілдір плазма бұлты пайда болды. Бұл біздің кішігірім «жұлдызымыздың» тұтанғанының белгісі.
3. Температураны бақылау: кернеуді одан әрі көтергенде, плазманың жарығы күшейді, ал вольфрам сымы қызып кетті. Бұл – энергияның бөлініп, температураның көтерілгенін көрсетеді.
4. Ұстап тұру механизмі: біз плазманың электр өрісінің арқасында орталықта тұзаққа түсіп, ұсталып тұрғанын бақыладық. Бұл әдіс – термоядролық реакторлардың негізгі идеясы.



Осылайша, біз зертханалық жағдайда жұлдыздың қалай энергия бөлетінін көрсететін қарапайым әрі нақты демонстрацияны жүзеге асырдық.

Қорытынды

Бұл ғылыми жобаның негізгі мақсаты – жұлдыздарда жүретін термоядролық синтез процесінің моделін зертхана жағдайында жасау арқылы, бұл процестің теориялық

негіздерін тереңдету және оның энергетикалық болашағын дәлелдеу болды.

Алға қойылған мақсат – жұлдыздың кіші моделін жасау – толығымен орындалды. Бұл жұмыс білім беру құралы ретінде астрономия мен атомдық физиканы оқытуда зертханалық жұмыс ретінде қолданылуға дайын.

Экологиялық өзектілікті көрсетеді: термоядролық реакция арқылы орасан зор энергия алу мүмкіндігі дәлелденіп, болашақта Жердегі көмір мен газдан тәуелсіз, қауіпсіз әрі қуатты «жасыл энергия» түрін қолдану қажеттілігін негіздеді.

Әдебиеттер тізімі:

1. Базаров, Р.Р. *Ядерные энергетические реакторы: Учебник для вузов.* — М.: НИЯУ МИФИ, 2011. — 352 с.
2. Омаров Е.С., *Атомдық және молекулалық физика. Жоғары оқу орындары студенттеріне арналған оқу құралы.* -Алматы: «Арда» , 2007, -128б.
3. Батурин, В.А. *Физика высокотемпературной плазмы и управляемого термоядерного синтеза: Учебное пособие.* — М.: НИЯУ МИФИ, 2013. — 200 с.
4. Мирнов, С.В. *Управляемый термоядерный синтез.* — М.: Физматлит, 2015. — 368 с.

ҚМ АА Куәлік нөмірі: **KZ45VPY00102718** — ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі

© 2026 **Bilimger.kz** Ақпараттық-танымдық білім порталы. Барлық мазмұн авторлық құқықпен қорғалған.