

ТЕРМОЯДРОЛЫҚ РЕАКТОРДЫҢ ҚАБЫРҒА МАҢЫНДАҒЫ ТОЗАҢДЫҚ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫҢ ПАЙДА БОЛУ МЕХАНИЗМІ

Дәтей Айаулым Мейрамханқызы

aiauka@mail.ru

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, физика-техникалық факультеті,
6М060500- «Ядролық физика» мамандығының 1 курс магистранты, Нұрсұлтан, Қазақстан
Ғылыми жетекшісі – Р.Ж. Аманғалиева

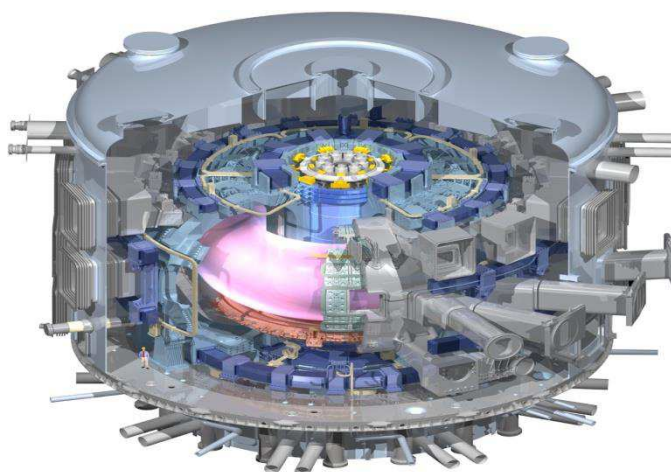
Термодролық реактор – басқарылатын термодролық синтездің есебінен энергия алынатын қондырғы. Басқарылатын термодролық синтез болашақта игерілетін энергияның бірден бір перспективалық көзі болып табылады. Қондырғылардағы ядролық реакцияның синтезі қарапайым химиялық реакцияларда бөлінетін стандартты жылу бөлінуден бірнеше есе көп энергияның бөлінуіне алып келеді. Басқарылатын термодролық синтез дәстүрлі ядролық энергетикадан айырмашылығы, онда ыдырау реакциясы соңында қолданылады, осының нәтижесінде ауыр ядролардан өте жеңіл ядролар алынады [1-2].

Бүгінгі күнде ядролық реакторлар ауыр ядроларды бөлу есебінен (уран, торий) және жеңіл ядролардың синтезінен (мысалы, дейтерий және тритий) құрылады. Бұл процесстер негізінде әр түрлі және олардың пайда болуы үшін әр түрлі жағдайлар қажет. Зерттеушілердің бағалауы бойынша термодролық реактордың маңызды жақтарының бірі апаттық жағдай болғанның өзінде радиация қалдықтары халық үшін зияны жоқ болып табылады. Сонымен қатар термодролық реакторлар қысқа жартылай ыдырау периоды бар, яғни тез ыдырайтын радиоактивті қалдықтарды өндіреді. Термодролық реактор радиациялық қарым – қатынаста ядролық реактормен салыстырғанда айтарлықтай қауіпсіз. Ең алдымен, онда орналасқан радиоактивті заттардың саны салыстырмалы түрде үлкен емес. Қандайда бір апаттық жағдай кезінде бөлінетін энергияда аз болады және ол реактордың жойылуына алып келмейді.

Термодролық синтезді жүзеге асыру үшін газдар өте жоғары температураға дейін қыздырылуы қажет, яғни олардың электростатикалық тебілуін жеңу үшін оң зарядталған бөлшектердің кинетикалық энергиясы жетерліктей жоғары болуы қажет. Мұндай температурада барлық атомдар толығымен ионизацияланған және газ плазма күйінде болады. Плазма заттың негізгі төрт агрегаттық күйінің бірі, ионизациялық газ болып табылады. Ионизациялық газ еркін электрондардан, оң және теріс иондардан тұрады. Ауқымырақ мағынада алғанда плазма кез келген зарядталған бөлшектен тұруы мүмкін. Осылайша синтездің тұрақты реакциясын алу үшін термодролық реакторлар мынадай үш мәселені қамтуы қажет: қыздыру, плазманы ұстап тұру және пайдалы энергияны алу.

Плазманы ұстап тұрудың екі түрлі тәсілі бар: магнитті және инерциялық. Термодролық реактордағы ыстық плазма соңғы тұйық магнитті бетке дейін таралады. Ұстап тұру аймағының шетінде плазманың температурасы орталығындағы температурамен салыстырғанда айтарлықтай төмен болғанымен плазманың бұл бөлігін ұстап тұру аймағы деп атайды. Қабырғаға жақын аймақта плазманың температурасы небәрі бірнеше электронвольтқа тең және бұл жағдайда тозаң оңай сақталады.

Термодролық реакторды құру термодролық құрылғылардың эрозиясы есебінен пайда болатын плазмамен шекаралас тозаңның мәселесімен байланысты. Реактор көлеміне тозаңның жиналуы тритийдің жиналуына алып келеді, ол өз кезегінде реактордың қауіпсіздігімен және оның үнемділігі үшін мәселе тудырады. Қазіргі таңда жақсы зерттелетін процесстің бірі болып магнитті ұстап тұру болып табылады, онда плазма тұйық көлемде шамасы бірнеше теслаға жетуі мүмкін магнитті өрістің көмегімен ұсталынып тұрады. Мұндай ұстап қалу күшті электромагнитпен қоршалған тороидальді камераларда орын алады.



Сурет - 1. Термоядролық реактор ITER

Магнит өрісінің сипаттамасына байланысты бұл қондырғылар әртүрлі атқа ие болуы мүмкін, мысалы ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), токамак (тороидальная камера с магнитными катушками). **ITER** — термоядролық реактордың халықаралық тәжірибелік жобасы. **ITER** қондырғысының мақсаты термоядролық реактордың коммерциялық қолданыстағы мүмкіндігін көрсету және осы жолда кездесуі мүмкін физикалық және технологиялық мәселелерін шешу болып табылады. ITER қондырғысында сутегі мен тритий атомдарының синтезіне жағдай жасалынады, соның нәтижесінде жаңа атом гелий атомы пайда болады. Бұл процесс алып энергия бөлінуімен қатар жүреді: термоядролық реакция жүретін плазманың температурасы Цельсий бойынша 150 млн градусқа жетеді. Сонымен қатар изотоптар радиоактивті қалдықтарды қалдырмай жанады. ITER термоядролық реакторы Еуроодақ Швейцария, Япония, АҚШ, Ресей, Оңтүстік Корея, Қытай және Үндістан мемлекеттерінің ортақ жобалары болып табылады. Ал инерциялық ұстап тұру термоядролық отынды микронысанды сығу және қыздыру үшін лазерлі, электронды және ионды шоқтарды қолдануы кезінде жүзеге асады. Соңғы уақыттарда плазманы басқарылатын термоядролық синтездің жағу параметрлеріне жақын лаборатория жағдайында алу даму үстінде. Бүгінгі таңда қондырғылардағы плазманың температурасы Күн центрінің температура қатарына жетуде, ал плазманың тығыздығы және энергияны ұстап тұру уақыты термоядролық реакцияның оң энергетикалық балансына сәйкес келеді. Мұндай жетістіктерге қарамастан басқарылатын термоядролық синтездің мәселесі бойынша жарты ғасырлық дәуірден бұрын алынған зерттеу қорытындалары, термоядролық реактор құрылысының жолында шешілуі қажет әлі де маңызды сұрақтар бар екенін көрсетеді [1].

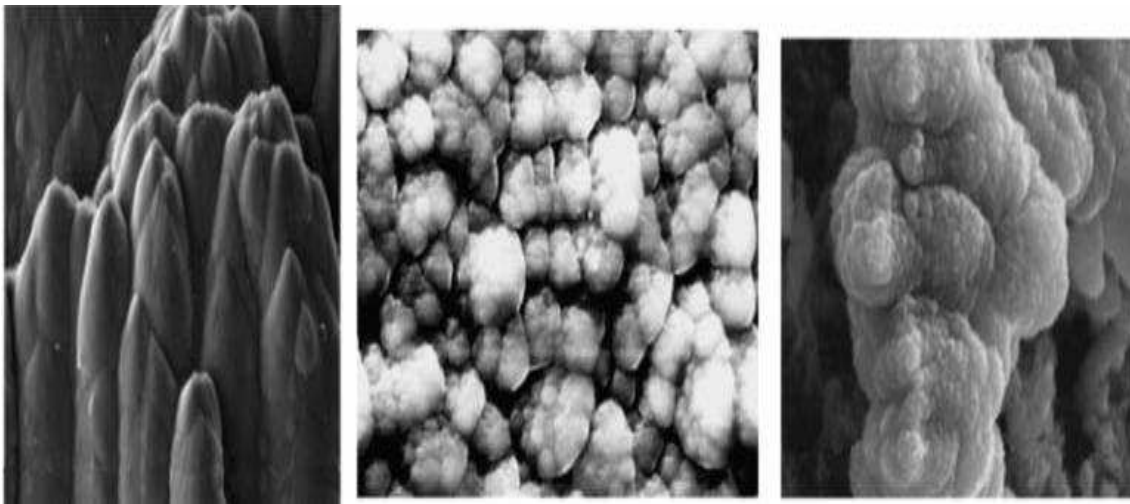
Тозанды бөлшектің зарядталу процесін зерттеу тозанды – плазмалы физиканың негізгі мәселесі болып табылады, себебі тозанды бөлшектің өзара әсерлесу потенциалын және заряды жайлы мәліметтер алуға мүмкіндік береді. Бұл мағлұматтар реттелген тозанды – плазмалы құрылымның құрылу және жойылу процесін сипаттай алатын, тозанды плазма жайлы теория құру үшін қажет. Сонымен қатар ол тозанды – плазмадағы динамикалық құбылыстарды бейнелеу үшін қажет. Плазмадағы бастапқыда бейтарап және жылжымайтын сынақ бөлшек электронды және ионды жұта бастайды және электрлі зарядқа ие болады. Бұл электрлі заряд, өз кезегінде плазманың жұтылатын бөлшектер ағынын өзгертеді және түпкі нәтижесінде тепе – теңдік қалыпқа алып келеді. Эмиссионды процесстердің болмауынан, ереже бойынша тозанды бөлшектің заряды теріс бола бастайды, сол себепті электронның ионға қатысты жылжуы жоғарлайды. Сосын тозанды бөлшектің заряды электронды теуіп және ионды тарта бастайды. Бөлшектің заряды оның беткі қабатындағы электрон және иондар ағыны теңелгенше өседі. Тозаң маңайындағы электрлік потенциал экрандалған кулондық потенциалдың көмегімен мына формула бойынша модельденуі мүмкін:

$$\varphi(r) = \frac{q_d}{r} \exp\left(-\frac{r}{\lambda_D}\right),$$

мұндағы, r – тозаңды плазманың центріне дейінгі арақашықтық, q_d – тозаңды плазманың электрлік заряды, $\lambda_D = \sqrt{K_B T_e / 4\pi n_e e^2}$ - Дебайдың электронды ұзындығы.

Тозаңның агломерациясы (шоғыры) бізге термоядролық реакторда тозаң плазмалы көлемде бар екені және қабырға маңында тозаңды қабат құратыны жайлы қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Үлкен көлемдегі тозаңды бөлшектердің пайда болуымен тозаңды бөлшектің жабысуы тозаңды плазманың агломерациясы деп аталады. Бұл құбылыс плазмалы өңделген көптеген қондырғыларда байқалады [2].

Тозаңды бөлшектерді өңдеу процесі кезінде көлемі бойынша үздіксіз өсетінін өңдеу бойынша жүргізілген тәжірибелер көрсетеді. Плазмадағы тозаңды бөлшектің заряды оның өлшеміне пропорционал болғандықтан, яғни өсетін тозаңды бөлшектер зарядтарын үздіксіз өсіреді және сонымен қатар зарядтың квадратына пропорционал кулондық күштер өсе бастайды. Ақырында тозаңды бөлшектің кулондық тебілуі оның алдағы агломерациясын тоқтату қажет. Бірақ басқа бақылаулар алынады. Агломерация екі кезеңнен тұрады, ал өлшемдерінің өсуі үш сатыдан тұрады.



Сурет 2. Токамактағы тозаңды қабыршақтар

Бірінші кезеңдегі зерттеулер тозаңды бөлшектер, яғни өзіндегі зарядтары кулондық күштің тебілуі есебінен алдағы агломерацияны тоқтатқанға жеткенге дейін жабысатын болады. Бұл кезең аяқталғаннан кейінде тозаңды бөлшек бетіндегі плазманың депозиция материалы есебінен тозаңды бөлшектер өсе береді. Бұл кезеңде агломерацияның өсуі байқалмайды. Осы кезеңге сәйкес өлшемдермен плазмаға инжектірленетін тозаңды бөлшектер формасы тез арада сфералық күйге ауысады. Тозаңды бөлшектердің бұл өлшемдері плазма материалының депозициясы есебінен өседі. Тозаңды бөлшек плазма ішінде болған кезде ғана сфералық тозаңды плазманың қалыптасуы болады. Бірінші кезеңде тозаңды бөлшектер өлшемі белгілі бір шамаға жеткенде, тозаңды бөлшектер «гүлді қырыққабат» өлшемі секілді ерекшеленетін агломерацияның екінші кезеңі басталады. Агломерацияның екінші кезеңі тозаңды бөлшектің өлшемі қандайда бір критикалық өлшемінен артатын жағдайда басталады. Қондырғыдағы плазманың өңделуі бойынша, бұл критикалық өлшем шамамен 10 мкм құрайды, ал бірінші кезең агломерациясы шамамен 0,1 мкм өлшемінде аяқталған. Тозаңды бөлшектің «гүлді қырыққабат» өлшемінде болуы, тозаңды бөлшектердің плазма көлемінде, агломерацияның екінші кезеңі өтуі қажет болатын ұзақ уақытта болатынын көрсетеді [3].

Әр түрлі токамактарда жүргізілген зерттеулердің көрсетуі бойынша, реактор камерасында бірнеше нанометрден жүздеген микрометрге жететін тозаңның, яғни бөгде бөлшектердің болуы көптеген зардаптарға алып келеді. Сондай зардаптардың ішінде вакуумның жоғалтуы және суытқыш жұмысының бұзылуы потенциалды радиологиялық қауіпті жарылысқа алып келеді, ал бұл жағдайлар ITER секілді қондырғылар үшін өзекті болып табылады. Тозаңды бөлшектердің болуы плазманың қоршаған қасиетін өзгертеді, нәтижесінде тозаңды бөлшектер бетіндегі электрондар және иондар бүлінеді. Басқа жағынан алғанда термоядролық реактор қабырғасында жиналатын тозаңның үлкен мөлшерде пайда болуының оң жақтары бар. Бұл жағдайда плазмалы ағындар плазмалы – тозаңды қабатпен әсерлеседі, ол сәйкесінше бу бетін интенсивті импульсті жылу жүктемесінен қорғауы мүмкін. Тәжірибелік жағдайда тозаңды плазма жоғары жиілікті қуатсыздандыруда немесе тұрақты токтың стратификацияланған солғын қуатсыздандыруында белсенді түрде зерттелуде.

Қорытындылай келе қабырға маңайлық плазмада пайда болған тозаңды бөлшектер термоядролық реактордың айтарлықтай энергиясының жоғалуына және соңында оң энергетикалық шығыстың азаюына алып келеді. Термоядролық қондырғыда тозаңды бөлшектердің сфералық және «гүлді қырыққабат» өлшемінде болуы, оның көп уақыт бойы термоядролық қондырғының қабырға маңайлық аумағында плазма ішінде болатыны көрсетеді. Плазманың қабырға маңайымен әсерлесуі айтарлықтай қиын және ол әсіресе термоядролық қондырғының ұзақ жұмысы кезінде және үлкен энергетикалық жүктемеде толық тексеруді талап етеді. Сонымен қатар, термоядролық реактордағы тозаң радиоактивті тритийді ұстап тұрумен және жарылыстың потенциалды радиологиялық қауіпінің ұлғаюымен байланысты апаттық жағдайлардағы қауіпті сипаттайды, ол өз кезегінде вакуумның жоғалуына және суытқыш жұмысының бұзылуына алып келеді. Тозаңның қабырғаның беткі қабатынан реактордың тереңдігіне тасымалдануы және олардың кезекті булануы реактордың жұмысына елеулі ықпал етуі мүмкін [4].

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Крауз В.И., Мартыненко Ю.В., Свечников Н.Ю., Смирнов В.П., Станкевич В.Г., Химченко Л.Н. Наноструктуры в установках управляемого термоядерного синтеза // УФН. - 2010. - Т.180.- №10. - С. 1055-1071.
2. Цытович В.Н., Винтер Дж. Пыль в установках управляемого термоядерного синтеза // УФН. - 1998. - Т. 168. - №8. - С. 899-907.
3. Фортов В.Е., Храпак А.Г., Храпак С.А., Молотков В.И., Петров О.Ф. Пылевая плазма // УФН. - 2004. - Т. 174.- №5. - С. 495-544.
4. Мартыненко Ю.В., Нагель М.Ю. Образование пыли в токамаке // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез.- 2009.- вып.3. - С.43-48.