Дәріс 8.
Жанудың жарылысқа өту шарттары. Жарылғыш заттардың детонациясы

Дәріскер: х.ғ.к., доцент

Кудьярова Ж.Б.

- **Дәрістің мақсаты:** білім алушыларды жанудың жарылысқа өту шарттарымен, жарылғыш заттардың жарылу реакцияларымен таныстыру, жарылғыш заттардың детонация құбылысын түсіндіру.
- Дәрісте жарылысқа өту шарттары, жарылғыш заттардың жарылу реакцияларына мысалдар, жарылғыш заттардың детонация құбылысы және детонацияның гидродинамикалық теориясы қарастырылады.

- **Химиялық реакцияның жарылысты формада өтуін қанағаттандыратын негізгі 4 түрлі шарт белгілі:**
- *реакцияның экзотермиялылығы (жылу бөліну),*
- *газдардың түзілуі,*
- *реакцияның жоғары жылдамдығы*
- *өздігінен таралуға қабілеттілігі.*

- ***Газтәріздес жарылыс өнімдерін*** бірнеше мың градус температураға дейін қыздыру және олардың кеңеюі реакцияның жылулық энергиясы есебінен жүзеге асады. Неғұрлым реакция энергиясы көп және оның таралу жылдамдығы жоғары болған сайын, жарылыстың механикалық әсері жоғары болады. Реакция энергиясы заманауи ЖЗ-тың жұмысқа қабілетінің критерийі болып табылады және 3760...7500 кДж/кг құрайды.

- ***Екінші шарт*** бөлінетін энергияның пайдаланылу ерекшеліктерін анықтайды. Егер барлық энергия жылу түрінде бөлінсе, онда ауысу жылу берілудің баяу процесі жолымен жүзеге асады. Бұл сыртқы қабаты болмаған жағдайда қысымның көтерілуі мардымсыз және реакция өнімдерінің механикалық әрекеті жоғары болмаған кездегі заттың жануына тән. Газдар және су буы жарылыстың бастапқы сатысында аса сығылған күйде болып, кеңейе түседі және ЖЗ потенциалдық энергиясын механикалық жұмысқа айналдырады. Қалыпты жағдайда (p=101,3 кПа, T=25 ^{o}C) 1 кг өндірістік ЖЗ 700...900 л газ түзеді және олардың температурасы 3000...4000 ^{o}C болады. Жарылыс орнындағы қысым жүздеген мың атмосфераға жетеді, бұл тау жыныстарының беріктілік шегінен 2-3 есеге жоғары. Сонымен қатар, қысымның бірден секірмелі өзгеруі тау жынысында соққы толқынының түзілуіне әкеледі және ол дыбыс жылдамдығымен таралады.

- ***Үшінші шарт – үлкен реакция жылдамдығы.*** Бұл шарт энергия бөліну жылдамдығын, яғни жарылысқа тән үлкен қуатты анықтайды. Жарылыс кезінде реакцияның соңғы өнімдерге айналуы секундтың жүзмыңдық, тіпті миллиондық үлесінде өтеді, демек бұл химиялық заттардың әдеттегі жануымен салыстырғандағы жарылыс ерекшелігі болып табылады. Жарылыстың айналу процесінің өту жылдамдығының критерийі заряд бойымен жарылыстың сызықты таралу жылдамдығы болып табылады. Оның мәні заманауи ЖЗ үшін 2...9 км/с құрайды.

- ***Жарылыстың төртінші шарты*** – өздігінен таралу қабілеті локальді қоздыру кезінде заттың түгелдей айналуға ұшырауын қамтамасыз етеді. Реакцияға тек активті молекулалар қатысатыны белгілі, ал активсіз молекулалар химиялық инертті болып табылады. Активтену энергиясын жұмсау арқылы молекуланы активтендіреді. Сондықтан, реакцияның өздігінен таралуына қабілеті реакцияның энергиясы Q мен активтену энергиясы E арасындағы қатынаспен тәуелді. Егер реакция жылуы активтену энергиясынан көп болған жағдайда, яғни реакцияны қоздыруға жұмсалатын энергиядан артық болғанда зат жарылғыш болады. Жарылысты инициирлеу көздері әртүрлі, яғни механикалық, электрлік, жарылысты, жылулық және т.б. болғанымен, реакцияны қоздырудың табиғаты жылулық болады.

Ж3 жарылысты ыдырау реакцияларына бірнеше мысалдар келтірейік және олардың ерекшеліктеріне тоқталайық:

Нитроглицерин:

$C_3H_5(ONO_2)_3=3CO_2+2,5H_2O+1,5N_2+0,25O_2+1400$ кДж/г·моль;

Аммиак селитрасы:

$NH_4NO_3=2H_2O+N_2+0,5O_2+121$ кДж/г·моль;

Нитрогликоль $C_2H_4(ONO_2)_2=2CO_2+2H_2O+N_2+990$ кДж/г·моль;

Амонит 6ЖВ (аммиак селитрасы+тротил):

$C_6H_6(NO_2)_3CH_3+10,7NH_4NO_3=7CO_2+13,9H_2O+12,2N_2+0,1O_2+$
$+ 4520$ кДж/г·моль;

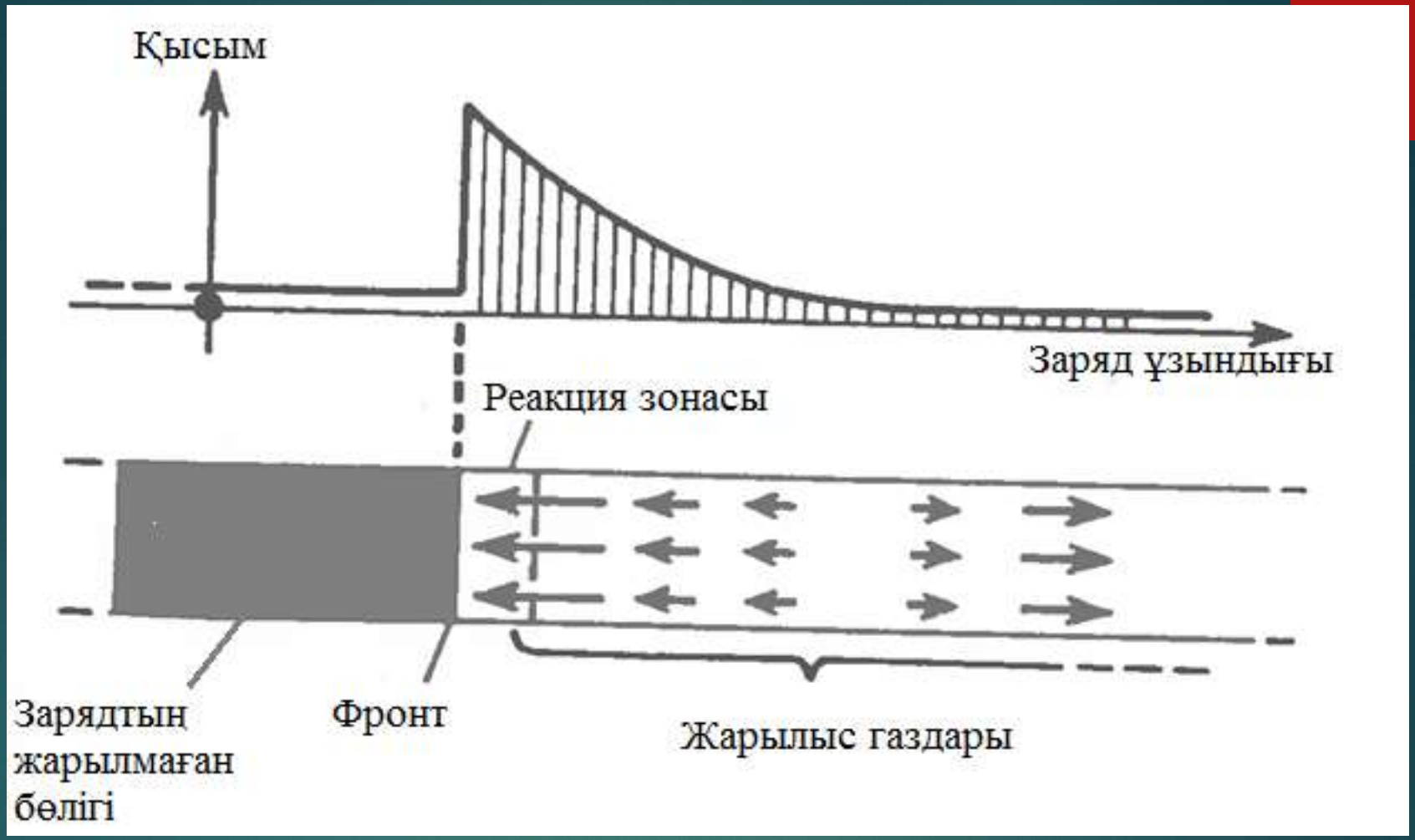
Тротил:

$C_6H_6(NO_2)CH_3=3,5CO_2+1,5H_2O+3,5C+1,5N_2+922$ кДж/г·моль;

Қорғасын азиді: $PbN_6=Pb+3N_2+448$ кДж/г·моль.

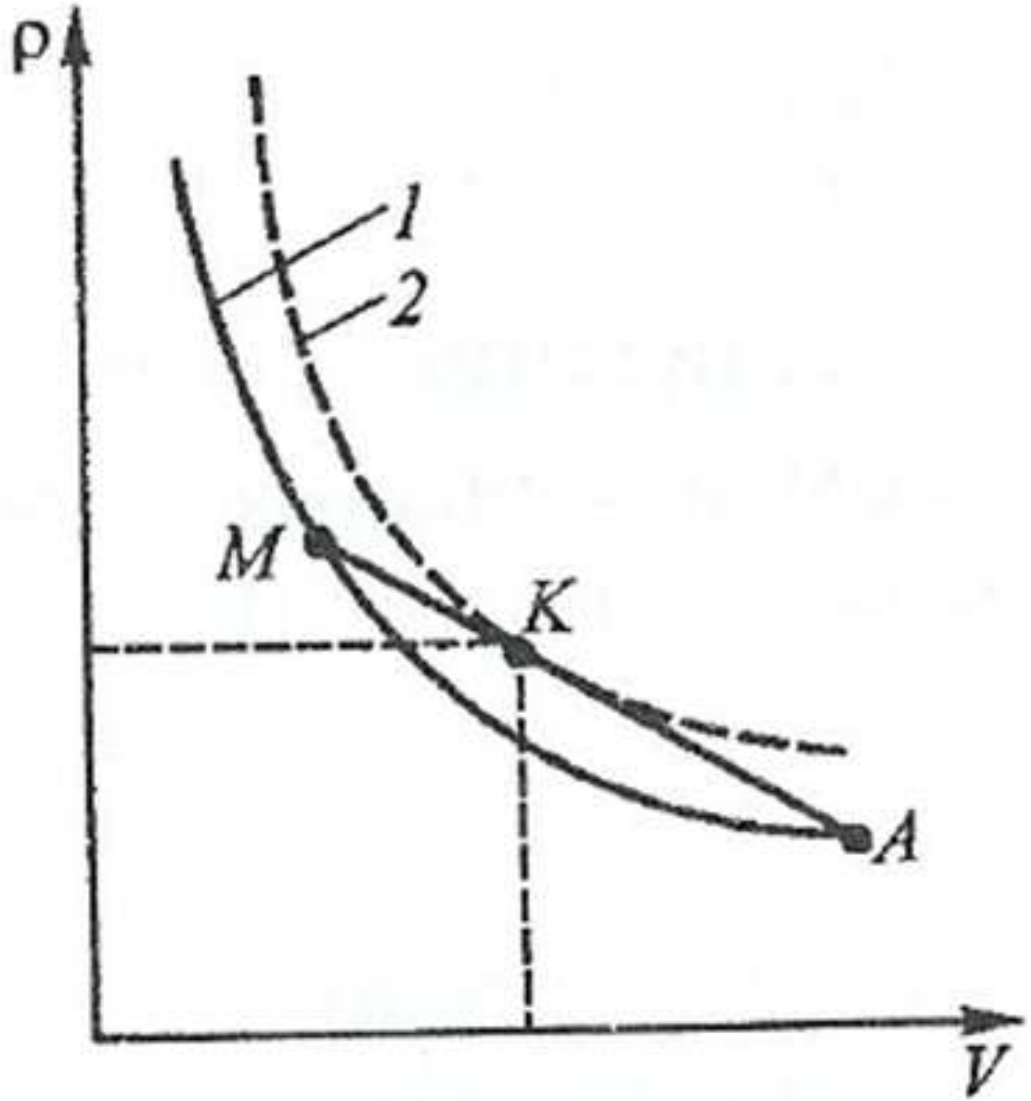
- Детонацияның гидродинамикалық теориясы бойынша, амплитудасы тұрақты соққы толқыны мен химиялық айналу зонасының Ж3 бойымен орын ауыстыруы ***детонация*** деп аталады.
- Бұл кезде соққы толқынының амплитудасы мен орын ауыстыру жылдамдығы тұрақты болады, себебі заттың соққылы сығылуынан пайда болатын диссипативті жоғалу Ж3 айналу реакциясының жылуымен компенсирленеді.
- Соққы толқыны дыбыс жылдамдығынан жоғары жылдамдықпен таралады және қысым тығыздық, температура сияқты зат параметрлерінің бірден секірмелі өзгеруімен сипатталады. Соққы толқындарының пайда болуы және таралу сипаты зат массасының сақталуы, бөлшек қозғалысы мен энергия мөлшерінің өзгеруі туралы физиканың іргелі заңдарымен анықталады. Ж3 бойымен соққы толқындарының пайда болу және таралу процестері газдағы толқындар таралу заңдарымен сипатталады. Бұл Ж3 зарядындағы соққы толқынының фронтында Ж3 материалының беріктігінен анағұрлым бірнеше ретке артық қысымның пайда болуымен байланысты, яғни бөлшектердің өзара байланысу күштерін ескермеуге болады және оның күйін газодинамика теңдеулерімен сипаттауға болады.
- Соққы толқыны және оған жанасқан Ж3 жарылысты химиялық айналуының жиынтығы ***детонациялық толқын*** деп аталады.

- Детонацияның гидродинамикалық теориясының бастапқы шарты, жарылысты ыдырау реакциясы детонациялық толқын фронтына келіп тірелетін зонада жүзеге асуы болып табылады. Детонациялық толқын фронты жарылыс реакциясы өтетін зонаны жарылысқа ұшырамаған жарылғыш зат зонасынан бөліп тұратын бет түрінде болады. Детонация толқынының фронты осы фронт бетіне перпендикулярлы бағытта өте үлкен жылдамдықпен қозғалады. Толқын фронтынан кейін температура мен қысым бірден (секірмелі түрде) жоғарылайды. Сондықтан жарылыс реакциясы детонация толқынының фронтынан кейін өте тез өтеді және толықтай қалыңдығы аз уақытта жүзеге асады. Бұл қабат детонация толқынының фронтынан кейін осы толқынның жылдамдығымен орын ауыстырады және өзінен кейін қызған, қысымы жоғары газдар қалдырады. Бұл газдар ұлғаю арқылы жарылыстың механикалық әрекетіне әкеледі.
- Сонымен, кейбір жуықтауларды ескерсек, детонация толқының фронты алғашқы тыныш күйдегі жарылғыш зат пен қатты сығылған ыстық жарылыс газдары арасындағы шекара болып табылады (сурет 1).



Сурет 1 – Детонациялық толқынның сызбанұсқасы

- ЖЗ-тың детонациялық толқында өзгеру күйі p-v координатында 3-суретте көрсетілген. V - меншікті көлем немесе тығыздыққа ρ кері шама. Бастапқы көлемі V_o болатын зат (А нүктесі) соққы толқынында М күйіне дейін сығылады. Бұл кезде химиялық реакция және $\rho_м$ қысым максималды мәнге жетеді. Жылу бөле жүретін және жарылыс өнімдерінің ұлғаюымен өтетін реакциялар дамиды, бұл жағдайда қысым төмендейді, ал зат көлемі ұлғаяды. Реакция жарылыс өнімдерінің соңғы адиабатасындағы К нүктеде аяқталады. Бұл нүкте Чепмен - Жуге нүктесі деп аталады. АКМ түзуі заттың бастапқы күйінің параметрлерін реакцияның максималды сығылу және аяқталу күйлерінің параметрлерін байланыстырады және ол Михельсон түзуі деп аталады. Зат детонациялық толқында біртіндеп АКМ түзуі бойынша барлық күйлерден өтеді. АК бөлігі соққы толқынындағы сығылу зонасына сәйкес келеді, ал КМ бөлігі химиялық реакция зонасы болып табылады. Қысым $\rho_м\rho_к$ қысымынан екі есе үлкен.
- Я.Б. Зельдович және Д.Н. Нейман ұсынған детонацияның гидродинамикалық теориясы бойынша ЖЗ сығылу кезінде соққы адиабатасымен 1 (Гюгонио адиабатасы), ал соққы өнімдер адиабата 2 (жарылыс өнімдерінің соққы адиабатасы) арқылы сипатталады (сурет 3).



Сурет 3 – Соққылық адиабата

- Соққы толқынында ЖЗ-тың сығылу зонасы өте аз (0,1 мкм-ге дейін), ал химиялық реакциялар зонасы ЖЗ-тың физикалық және химиялық қасиеттерінен тәуелді және қорғасын азиді үшін 0,5 мм, тротил үшін 10 мм-ге дейін созылады. Химиялық реакцияның детонациялық толқындағы ұзақтығы 10^{-6}....10^{-7} с шамасын құрайды.

- Детонациялық толқын параметрлері – нүктедегі қысым, көлем, температура, детонация жылдамдығы және детонация фронтынан кейінгі жарылыс өнімдерінің таралу жылдамдығы масса, қозғалыс мөлшері, энергия, детонация өнімдерінің күйінің сақталу заңдарына және Чепмен-Жуге детонация жылдамдығын таңдау ережесіне негізделген теңдеулер жүйелерін шешу жолымен есептеледі. Чепмен-Жуге детонация жылдамдығын таңдау ережесі бойынша, Жуге нүктесінде, яғни адиабата 1-жағдайынан адиабата 2-ге өтуін сипаттайтын детонация жылдамдығы мынаған тең:

$$\vartheta_g = \omega + c,$$

мұндағы ω - жарылыс өнімдерінің қозғалу жылдамдығы, м/с; с – жарылыс өнімдеріндегі дыбыс жылдамдығы, м/с.

Л.Д. Ландау мен К.П. Станюкович жарылыс өнімдерінің күйіне арналған политроп теңдеуін ұсынған:

$$\rho V^n = \text{const},$$

мұндағы р-қысым; көлем; тығыздығы 1....1,2 г/см^3 болатын ЖЗ үшін 3-ке тең болатын политроп көрсеткіші.

Чепмен-Жуге жазықтығындағы қысым негізгі сақталу заңдарын ескергенде келесі теңдеумен есептеледі.

$$P_ж = \frac{\rho_0 V_д}{n} \sim \frac{\rho_0 V_д^2}{4},$$

мұндағы ρ_0 – ЖЗ-тың бастапқы тығыздығы, кг/м^3.

Бақылау сұрақтары:

- Жанудың жарылысқа өту шарттарын атаңыз және сипаттаңыз.
- Детонация құбылысын түсіндіріңіз.
- Жарылғыш заттардың жарылыстық реакцияларын жазыңыз.
- Детонация кезіндегі жану параметрлерінің өзгеруін сипаттаңыз.
- Детонацияның гидродинамикалық теориясының мәнін түсіндіріңіз.

Әдебиеттер:

- Королев, В.Н. Теория горения и взрыва : учебно-методическое пособие / В.Н. Королев ; М-во науки и высш. обр. РФ.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2021. -76 с.
- Ведрученко В.Р., Крайнов В.В., Гаак В.К. Топливо и основы теории горения. Изд-во: Инфра-Инженерия, 2024. – 220 с.
- Ермолин Н.Е., Фомин В.М. Горение газофазных и конденсированных систем. Методы расчета. Структура пламен. Изд-во: Физматлит, 2022. – 520 с.
- Апкарьян А. С. Теория горения и взрыва: Методические указания по практическим занятиям / А.С. Апкарьян. – Томск. Гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2024. – 93 с.