ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТІРЛІГІ
ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Реакция жылдамдығының температураға тәуелділігі: Вант-Гофф ережесі және температура әсерінің кинетикалық ерекшеліктері

Химия және химиялық технология факультеті, Физикалық химия, катализ және мұнайхимия кафедрасының оқытушысы

PhD Савденбекова Б.Е.

Алматы, 2026

Дәрістің мақсаты - Температураның химиялық реакция жылдамдығына әсер ету механизмін Вант–Гофф ережесі мен Аррениус теориясы негізінде түсіндіріп, активтену энергиясының реакция кинетикасындағы рөлін және реакция жылдамдығы тұрақтысының температураға тәуелділігін сандық тұрғыдан сипаттауды меңгерту.

Бақылау сұрақтары.

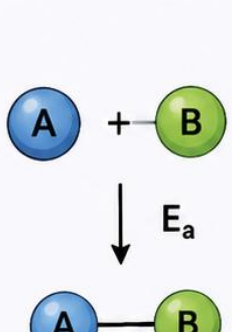
1) Вант–Гофф ережесі бойынша температураны әрбір 10 °С-қа арттырғанда химиялық реакцияның жылдамдығы неше есе өзгереді?
2) Температураның жоғарылауы реакция жылдамдығын не себепті арттырады? Молекулалардың кинетикалық энергиясы мен тиімді соқтығысу санының өзгеруін түсіндіріңіз.
3) Реакцияның температуралық коэффициенті γ = 3 болса, температураны 20 °С-қа арттырғанда реакция жылдамдығы қанша есе артады?
4) Вант–Гофф ережесі мен Аррениус теңдеуін салыстырыңыз. Екеуінің температураның реакция жылдамдығына әсерін сипаттаудағы айырмашылығы неде? 5) «Температураны арттырғанда реакция жылдамдығының өсуі тек молекулалардың соқтығысу санының артуымен түсіндіріледі» деген пікір дұрыс па? Өз жауабыңызды Аррениус теориясы тұрғысынан дәлелдеңіз. 6) Реакцияның активтену энергиясын тәжірибелік жолмен анықтау үшін зерттеу жоспарын құрастырыңыз: қандай шамаларды әртүрлі температурада өлшейсіз, қандай график тұрғызасыз және алынған графиктен -ны қалай анықтайсыз?

Жоспар

1. Температураның химиялық реакция жылдамдығына әсері. Реакция жылдамдығының температураға тәуелділігінің жалпы заңдылықтары.
2. Вант–Гофф ережесі. Температуралық коэффициент ұғымы және оның физикалық мағынасы. Реакция жылдамдығының температура өзгерісіне байланысты артуы.
3. Химиялық реакциялардың жүруін түсіндірудегі активті соқтығысу теориясының негізгі қағидалары.
4. Активтену энергиясы туралы түсінік. Оның химиялық реакция жылдамдығына және реакция механизмдеріне әсері.
5. Аррениус теориясы. Жылдамдық константасының температураға тәуелділігін сипаттайтын теңдеу.
6. Аррениус теңдеуінің логарифмдік түрі және оның графиктік интерпретациясы. Активтену энергиясын тәжірибелік деректер негізінде анықтау.
7. Жылдамдық константасының температура өзгерісіне байланысты сандық есептелуі. Аррениус теңдеуінің практикалық қолданылуы.
8. Вант–Гофф ережесі мен Аррениус теориясының өзара байланысы және қолданылу ерекшеліктері.
9. Температура мен активтену энергиясының химиялық реакциялардың кинетикалық сипаттамаларын болжаудағы рөлі.

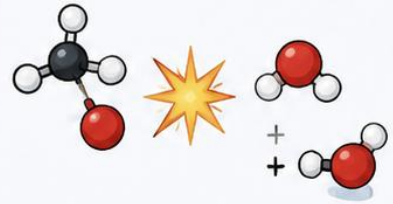
АКТИВТЕНУ ЭНЕРГИЯСЫ –

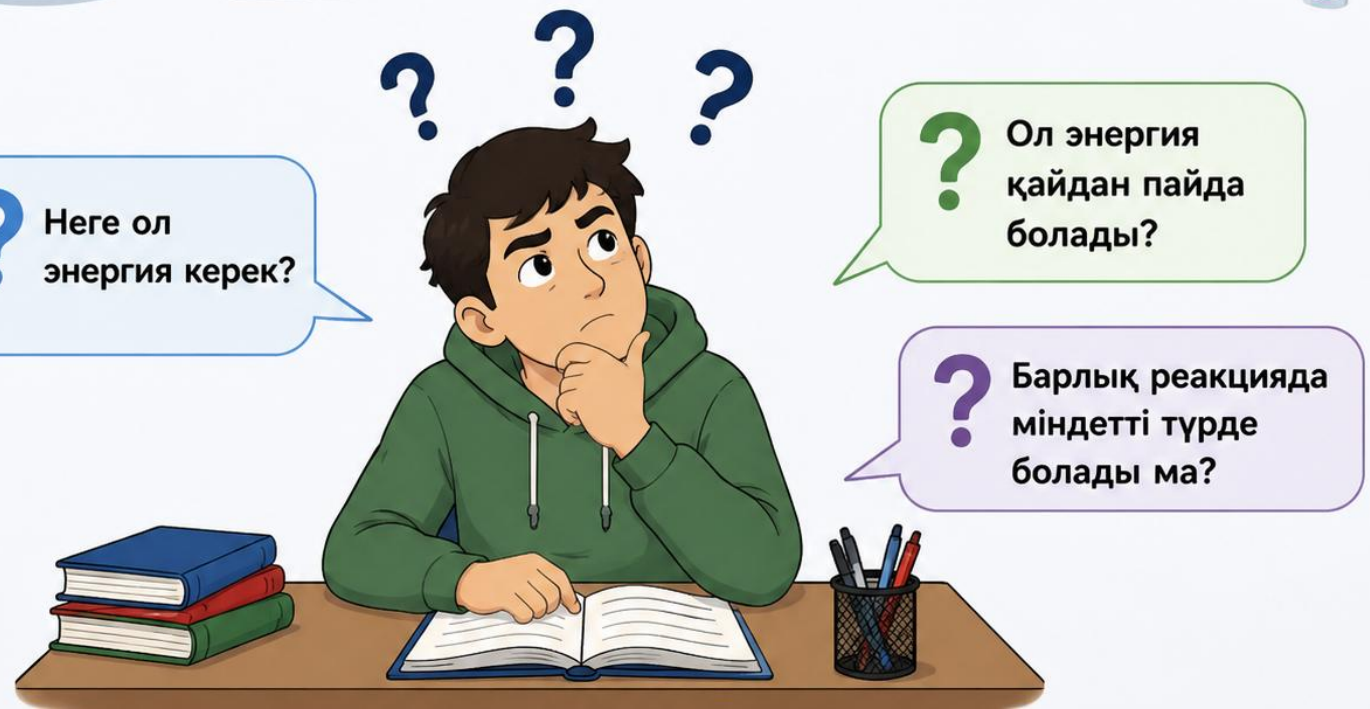
реакция жүруі үшін қажетті ең аз энергия.









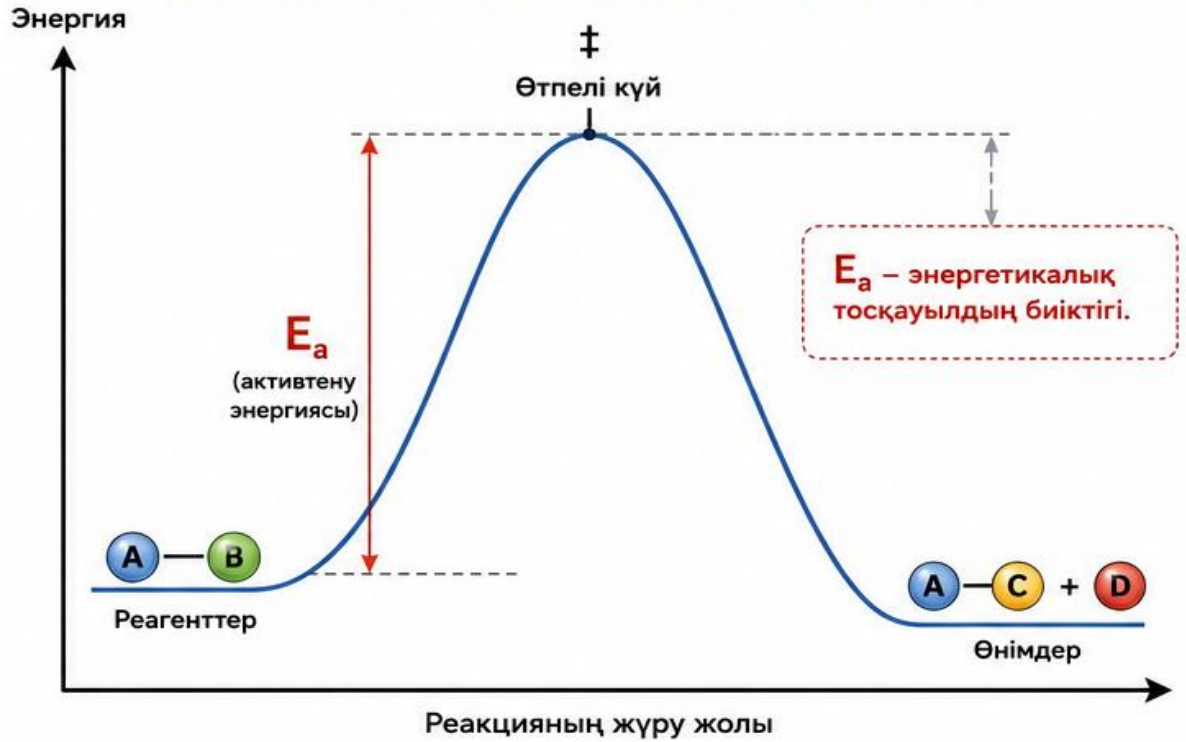


АКТИВТЕНУ ЭНЕРГИЯСЫ ҚАЙДАН ПАЙДА БОЛАДЫ?

Активтену энергиясы химиялық байланысты уақытша әлсірету қажеттілігінен туындайды.
Реакция жүруі үшін молекулалардың иелену тиіс минималды энергия деңгейі.

Активтену энергиясы – заттың ішінде сақталып тұрған энергия емес,
ол энергетикалық тосқауылдың биіктігі.

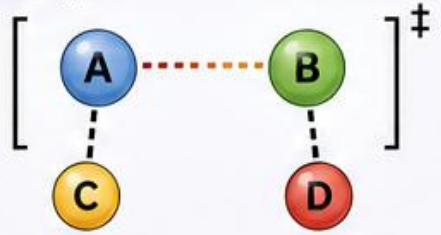
ЭНЕРГИЯ ПРОФИЛІ (РЕАКЦИЯ КООРДИНАТАСЫ ДИАГРАММАСЫ)



НЕ ӨТЕДІ?

Өтпелі күйде:

- Ескі байланыс (A—B) әлсірейді немесе үзіледі.
- Жаңа байланыс (A—C) түзіле бастайды.



Бұл – ең жоғары энергия нүктесі.
Одан кейін жүйе өнімдерге өтеді.

Өнімдер түзіледі



Жаңа байланыстар түзіледі,
энергия бөлінеді.

Активтену энергиясы – ескі байланысты әлсіретіп (немесе үзіп),
жаңа байланыстың түзілуі басталатын өтпелі күйге жетуге қажетті минималды энергия.

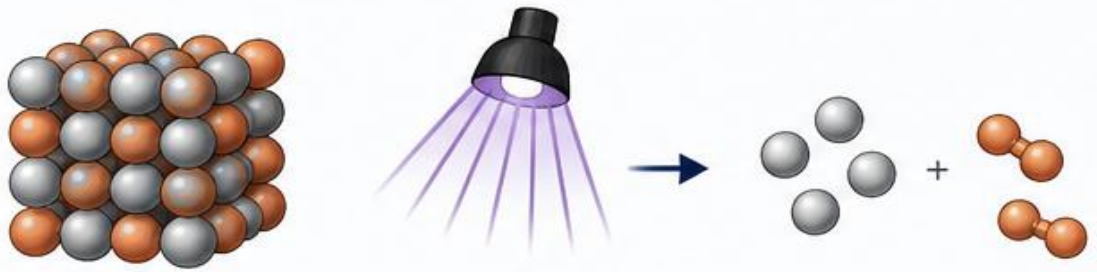
ВАНТ–ГОФФ ЕРЕЖЕСІ ТҮСІНДІРЕ АЛМАЙТЫН РЕАКЦИЯЛАР

Вант–Гофф ережесі: температура әрбір 10 °C-қа артқанда реакция жылдамдығы 2–4 есе артады (γ = 2–4).
Бірақ кейбір реакциялар **температураға осылай тәуелді болмайды**.

2. ФОТОХИМИЯЛЫҚ РЕАКЦИЯЛАР

Мысалы:

$$2AgBr \xrightarrow{h\nu} 2Ag + Br_2$$



Неліктен Вант–Гофф ережесіне бағынбайды?

- Реакцияның жүруі үшін фотон (hν) қажет.
- Жылдамдық негізінен жарықтың интенсивтілігіне тәуелді:

$$v \sim I_{жарық}$$

($I_{жарық}$ – жарық интенсивтілігі)

- Температура реакцияға екінші реттік әсер етеді.
- Сондықтан температураны өзгерту реакция жылдамдығына аз әсер етеді, Вант–Гофф ережесі орындалмайды.

Қорытынды: фотохимиялық реакцияларда анықтаушы фактор – жарық, температура емес. Сондықтан Вант–Гофф ережейді бұл реакциялардың кинетикасын сипаттай алмайды.

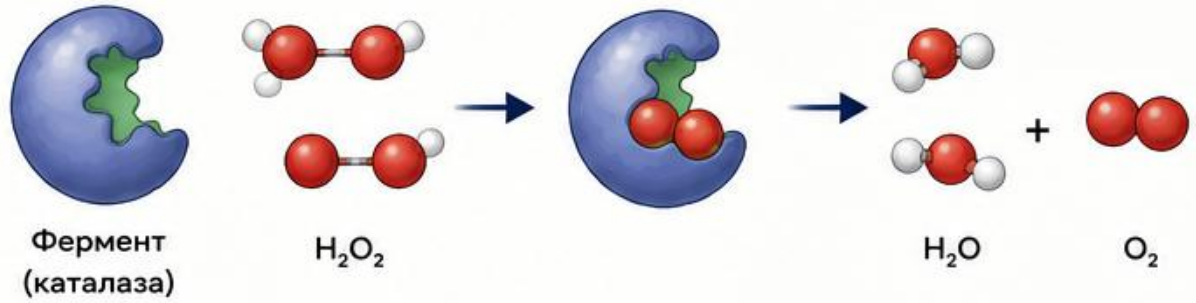
ВАНТ–ГОФФ ЕРЕЖЕСІ ТҮСІНДІРЕ АЛМАЙТЫН РЕАКЦИЯЛАР

Вант–Гофф ережесі: температура әрбір 10 °C-қа артқанда реакция жылдамдығы 2–4 есе артады (γ = 2–4).
Бірақ кейбір реакциялар **температураға осылай тәуелді болмайды**.

1. ФЕРМЕНТТІК (БИОХИМИЯЛЫҚ) РЕАКЦИЯЛАР

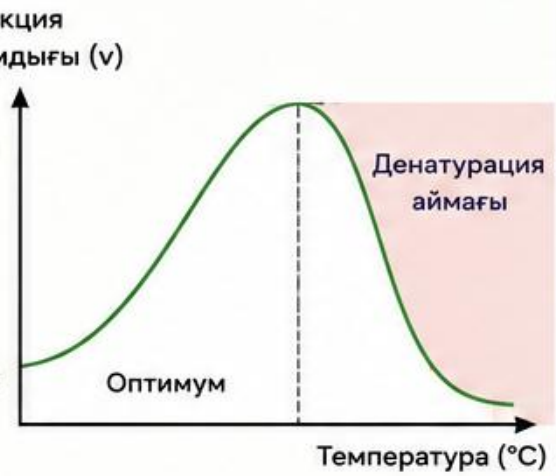
Мысалы:

$$2H_2O_2 \xrightarrow{\text{каталаза}} 2H_2O + O_2\uparrow$$



Неліктен Вант–Гофф ережесіне бағынбайды?

- Температура белгілі бір мәнге дейін артқанда реакция жылдамдығы өседі.
- Белгілі бір температурадан жоғарылағанда ферменттің кеңістіктік құрылысы бұзылады (денатурация).
- Белсенді орталық өзгергендіктен реакцияның жылдамдығы күрт төмендейді.



Қорытынды: фермент денатурацияланғаннан кейін температураны арттыру реакцияны жеделдетпейді, керісінше тежейді. Сондықтан Вант–Гофф ережесі қолданылмайды.

Аррениустың бірінші және екінші жорамалдары



Аррениус өзінің теңдеулерін қорытып шығару үшін бірнеше жорамалдар жасайды:

Бірінші жорамал: химиялық әрекеттесуге барлық молекулалар емес тек активтенген молекулалар түседі, өнім түзілердің алдында активтену процесі жүреді. Активтенген молекулалар соқтығысу нәтижесінде түзіледі, соқтығысу процесі эндотермиялық процесс болатындықтан молекулалар жылу энергиясын (Е) сіңіріп активті күйге көшеді. Мысалы 2А→В реакциясын былай жазуға болады:

$$A+A+E_a \rightarrow A^*+A^* \rightarrow B$$

Активті молекулалардың саны аз болады, олардың энергия бойынша таралуы Больцман теңдеуіне бағынады, бірақ температура өссе активті молекула саны да өседі. Больцман көбейткіші мына формуламен анықталады: $n = n_0 e^{-E_a/RT}$, мұнда n - активтенген бөлшектер, n_0 - бөлшектердің жалпы саны. **Активті молекулалар деп** кинетикалық энергиясы мен ілгерілмелі қозғалыс энергиясының және молекула атомдары мен атомдар тобының айналмалы және тербелмелі қозғалыстары энергиясының артық мөлшері бар молекулаларды айтады. Сондықтан Аррениус E_a - шамасын активтену энергиясы деп атайды.

Екінші жорамал: активті моекуланың түзілуі қайтымды процесс, сондықтан оған массалар әрекеттесу заңы қолданылады, демек активті бөлшектердің концентрациясы термодинамикалық тепе - теңдікте болатындықтан оны тепе - теңдік константасы K_C арқылы өрнектеуге болады:

$$A \Leftrightarrow A^* \text{ және } K_c = \frac{[A^*]}{[A]-[A^*]}.$$

Аррениустың үшінші және төртінші жорамалдары

Үшінші жорамал: активті молекулалардың концентрациясы аз болатындықтан бастапқы молекулалардың бастапқы концентрациясына әсер етпейді, демек $K_c = \frac{[A^*]}{[A]}$ немесе $[A^*] = K_c \cdot [A]$. K_C шамасы үшін Вант - Гоффтың изохора теңдеуін $\frac{d \ln K_c}{dT} = \frac{\Delta U_a}{RT^2}$ деп жазуға болады: мұндағы ΔU_a - активті молекулалар түзілу процесінің жылулығы.

Төртінші жорамал: активті молекулалардың реакция өніміне айналу жылдамдығы температураға тәуелсіз, мұнда температура активті молекулалардың түзілу жылдамдығына ғана әсер етеді.

Осы жорамалдарды қолдана отырып Аррениус өзінің дифференциалды түрдегі теңдеуін қорытып шығырады:

А→В реакциясының жылдамдығы өнімнің концентрациясы бойынша былай жазылады:



Бірақ, $\frac{dB}{dt} = K[A]$ екені белгілі, олай болса $K[A] = const \cdot K_c[A]$, осыдан

$$K = const \cdot K_c \quad (10)$$

Бұл (10) - теңдеуді логарифмдесек: $\ln K = \ln const + \ln K_c$. Температура (Т) бойынша дифференциалдасақ:

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{d \ln K_c}{dT}$$

Ал $\frac{d \ln K_c}{dT} = \frac{\Delta U}{RT^2} = \frac{E_a}{RT^2}$ болатындықтан,

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{E_a}{RT^2}$$

Пайдаланған әдебиеттер тізімі

Оспанов Х. Қ., Қамысбаев Д. Х., Абланова Е. Х., Шәбікова Г. Х. Физикалық химия / Оқулық. — Алматы, 2014. — (Химиялық кинетика және электрохимия тарауы).

- Шабікова Г.Х., Оспанова Э.К., Ашимхан Н.С. Физикалык химия пэні бойынша есептер (химиялык кинетика жене электрохимия). Алматы: Казак университеті,2016 ж.
- Оспанова Э.К., Сейілханова Г.А. Химиялык, кинетика жэне электрохимия.Алматы: Казак университеті, 2010.