**Е.Қ. Оңғарбаев**

**”Химиялық физика” пәні бойынша зертханалық жұмыстар**

**1-жұмыс (1-3 апта). Сутегі асқын тотығының фотохимиялық ыдырау кинетикасын зерттеу**

**Жұмыстың мақсаты:** Сутегі асқын тотығының фотохимиялық ыдырау кинетикасын зерттеу.

**Тапсырмалар:**

1. Сутегі асқын тотығының фотохимиялық ыдырау кезінде бөлніген оттегінің көлемінің уақытқа тәуелділігін алу.
2. Сутегі асқын тотығының фотохимиялық ыдырау жылдамдығының уақытқа тәуелділіігн алу.
3. Сутегі асқын тотығының фотохимиялық ыдырау процесінің индукция периоды мен активті орталықтар санын есептеу.

Көптеген химиялық реакциялардың кинетикасы формальды кинетика теңдеулерімен сипатталмайды. Кейбір жағдайларда мұндай ауытқулар реакция барысында бірнеше сатылардың болуымен немесе реакция өнімдерінің катализдік әсерімен түсіндіріледі. Бірақ, тіпті басқа кинетикалық заңдылықтарға бағынатын реакциялардың кең класы бар. Олар тізбекті реакциялар деп аталады.

Тізбекті реакциялар кең таралған. Сұйық фазадағы бірқатар реакциялар тізбекті механизм бойынша өтеді, каучук және пластмассалар өндірісі (полимерлену) немесе моторлы отын алу (термиялық крекинг) сияқты процестер кең таралған техникалық тізбекті процестерге жатады. Типтік тізбекті процестерге реактивті іштен жану қозғалтқыштарында отынды жағу және уран ядросының бөлінуі жатады.

Химиялық түрленулер туралы қазіргі заманғы ілім көптеген реакциялардың активті аралық өнімдер арқылы өтетінін айтады. Тізбекті реакцияларда мұндай активті өнімдер – бос атомдар мен радикалдар. Активті аралық өнімдердің материалдық табиғаты спектроскопиялық зерттеулермен дәлелденді, бұл зерттеулер нәтижесінде ОН, SH, SO және басқа да радикалдар ашылды.

Тізбекті реакциялар теориясы келесі ережелерге сүйенеді:

1. Бос радикал валенттігі қаныққан молекуламен реакцияда активті бөлшек болып саналады.
2. Бір валентті бос радикал валенттігі қаныққан молекуламен реакцияға түскенде бос валенттігі жойылады. Реакция өнімдерінде міндетті түрде бір жаңа бос радикал болады.
3. Жаңа радикал молекуламен реакцияға түсіп, өз кезегінде басқа жаңа радикал түзеді. Осындай периодты регенерация түрленулердің ұзын тізбегін құрып, процестің тізбекті механизммен өтуіне алып келеді.

Егер бос валенттік жойылса, яғни әртүрлі тізбектегі екі радикал соқтығысқанда бос валенттіктерінің қанығуы нәтижесінде молекула түзілсе, онда тізбек үзіледі.

Осылайша, кез келген тізбекті түрлену үш типті реакциялардан тұрады:

1. Тізбектің пайда болу реакциялары. Бұл реакциялар энергияның жұмсалуын қажет етеді, ол жарық, жылулық, электрлік және т.б. энергия түрінде берілуі мүмкін:

Cl2 + hν → 2 Cl•

H2 қыздыру→ 2 Н•

2. Тізбектің жалғасу реакциялары, яғни радикалдардың молекулалармен әрекеттесу актілерінің кезектесуі:

Cl• + СН4 → •СН3 + HCl

•СН3 + Cl2 → Cl• + СН3Cl

Cl• + Н2 → Н• + НCl

Н• + O2 → •OH + O:

3. Тізбектердің үзілу реакциялары, яғни бос валенттіктің жойылуына алып келетін реакциялар:

•СН3 + •CН3 + М → С2Н6 + М

Сl• + Сl• + W → Сl2 + W,

мұндағы М – үшінші бөлшек, W – реакциялық ыдыс қабырғасы.

Тізбек ұзындығы бастапқы пайда болған бір радикалдан жүзеге асатын регенерация циклдерінің санымен анықталады.Ұзындығы кейде 106 циклден тұратын тізбектер жалғасу үшін белгілі бір уақыт қажет. Индукция периоды деп аталатын бұл уақыт аралығында реакция жылдамдығы өлшенбейтіндей аз болады.

Әрбір активті молекула-радикал бір тізбектің басталуына негіз болатындықтан, пайда болу тәсіліне тәуелсіз реакция жылдамдығын келесі теңдеумен өрнектеуге болады:

v = n0⋅ν,

мұндағы ν - тізбек ұзындығы, n0 – уақыт бірлігінде пайда болатын активті молекулалар саны.

Мұндай реакция индукция периодынан кейін бірқалыпты өтеді. Бастапқы концентрация азайған сайын реакция жылдамдығы біртіндеп азаяды, себебі әсер етуші массалар заңы бойынша концентрацияның азаюы соқтығысулар санын азайтады, демек ν және n0 шамалары да азаяды.

Дегенмен, көп жағдайларда әрбір активті молекула-радикал бір емес, екі немесе одан көп жаңа радикалдардың пайда болуына алып келеді, сондықтан тізбек тармақталады. Егер тізбектердің мұндай тармақталуы жылдам жүзеге асатын болса, онда реакция қарапайым тізбекті реакциядан айырмашылығы стационарлы емес, өзін-өзі үдету арқылы өтеді. Бұл кезде егер бастапқы концентрация жоғары болса, онда өздігінен тұтану немесе жарылыс болуы мүмкін.

Тармақталған тізбекті процесс жылдамдығының уақыт бойынша сандық өзгерісі келесі теңдеумен сипатталады:

v = kn0(eϕt – 1)

немесе уақыттың аз емес мәндерінде

v = kn0eϕt,

мұндағы ϕ - тармақталу жылдамдығын сипаттайтын өсу константасы, k – тұрақты.

Өсу константасының мәніне байланысты реакцияның бастапқы жылдамдығы көп немесе аз болуы мүмкін.

Өсу константасы жеткілікті аз болса, реакция жылдамдығы нөлге жуық және оның мәні бірнеше ондық минуттарға созылатын индукция периоды τ = 1/ϕ кезінде тіркелмейді. Сосын реакция жылдамдығы жылдам жоғарылайды да, максимумға жеткен соң, реакция компоненттері жұмсалуы салдарынан азая бастайды.

Эксперименттік бөлім

Бұл жұмыстың мақсаты – ерітіндідегі сутегі асқын тотығының фотохимиялық айрылу реакциясын зерттеу. Азғындала тармақтала жүретін бұл типтік тізбекті реакция әртүрлі активті орталықтар – радикалдардың қатысуымен өтеді.

Реакция механизмін келесі түрде ұсынуға болады: бастапқы активті орталықтарды түзетін біріншілік реакция – ультракүлгін сәуленің әсерінен сутегі асқын тотығының диссоциациясы:

Н2О2 + hν → 2 •ОН.

Түзілген •ОН радикалдары сутегі асқын тотығымен реакцияға түсіп, жаңа активті аралық өнімдер түзеді:

•ОН + Н2О2 → НО2• + Н2О.

НО2• радикалы Н2О2-нің димерлі формасымен жеңіл әрекеттесіп, қайтадан •ОН радикалын және жаңа аралық өнімді Н2О4 түзеді. Бұл активті молекула ыдырап, реакцияның жылдамдауына алып келеді.

Тізбекті процестің механизмінің толық сызбанұсқасы келесі түрде жазылады:

1. Н2О2 + hν → 2 •ОН активті орталықтардың пайда болу реакциясы
2. •ОН + Н2О2 → НО2• + Н2О
3. НО2• + (Н2О2)2 → Н2О4 + •ОН + Н2О активті орталықтардың
4. Н2О4 + hν → 2 •ОН + O2 регенерация реакциялары
5. Н2О4 + W → 2 НO2• + W
6. Н2О4 + W → Н2O2 + O2 +W
7. •ОН + НО2• → Н2О + O2 активті орталықтардың жойылу
8. НО2• + НО2• → Н2О2 + O2 реакциялары

Сутегі асқын тотығының сұйытылған ерітінділері үшін қандай да бір уақыт мезетінен бастап, реакция жылдамдығының азаюы байқалады, бұл бастапқы заттың мөлшерінің азаюымен түсіндіріледі.

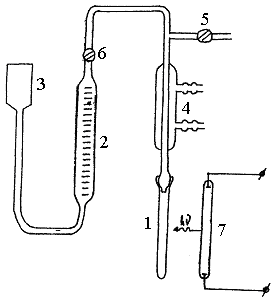
Судағы ерітіндісіндегі сутегі асқын тотығының фотохимиялық айрылу реакциясын зерттеу 1-суретте бейнеленген қондырғыда жүргізіледі.

Кварц колбадағы (1) сутегі асқын тотығының ерітіндісіне ультракүлгін сәуле түсіріледі. Сәуленің әсерінен колбадағы сутегі асқын тотығы ыдырап, оттегін бөліп шығарады:

Н2О2 → Н2О + 1/2О2.

Бөлінген оттегінің көлемі градуирленген бюретканың (2) көмегімен өлшенеді, ол теңестіруші ыдыспен (3) байланысқан.

Жұмыстың алдында кварц колбаны хром қоспасымен жуып, бірнеше рет дистильденген сумен шаю керек. Сосын таза өлшеуіш цилиндрмен колбаға 150-250 см3 дистильденген су және таза құрғақ пипеткамен 2-4 см3 30 %-дық сутегі асқын тотығын құяды.



1-сурет. Сутегі асқын тотығының фотохимиялық ыдырауын

зерттеу қондырғысының сызбанұсқасы:

1 – кварц колба, 2 – градуирленген бюретка, 3 – теңестіруші ыдыс,

4 – мұздатқыш, 5 және 6 – шүмектер, 7 – сынап-кварц шамы.

Зерттелетін сутегі асқын тотығының концентрациясы 10 см3 осы ерітіндіні 0,1 н. калий перманганатымен титрлеу арқылы анықталады. Алынған сутегі асқын тотығының мөлшері бойынша ол толық айрылғанда бөлінетін оттегінің шекті көлемі есептеледі. Бұл үшін екі колбаға пипеткамен Н2О2-нің жұмысшы ерітіндісі мен 20 %-дық күкірт қышқылының ерітінділерінің белгілі бір көлемін құяды. 0,1 н. калий перманганаты ерітіндісімен әлсіз қызғылт түс пайда болғанша титрлейді. Титрлеу кезінде

2MnO4- + 6H+ + 5H2O2 → 2Mn2+ + 8H2O + 5O2

реакциясы өтеді. Сутегі асқын тотығының бастапқы ерітіндісін титрлеу реакция нәтижесінде бөлінетін оттегінің тәжірибелік мәнін теориялық мәнімен салыстыру үшін қажет. Бөлінетін оттегінің теориялық мәні



формуласымен анықталады,

мұндағы R - әмбебап газ тұрақтысы, 0,082 л⋅атм/град⋅мольге тең,

Р – атмосфералық қысым, мм сын. бағ.,

РН2О – бөлме температурасындағы қаныққан су буының қысымы (кестеден алынады),

Т – бөлме температурасы, К,

VН2О2 – реактордағы сутегі асқын тотығының көлемі, мл,

NH2O2 – сутегі асқын тотығының нормальдығы (сутегі асқын тотығын калий перманганатымен титрлеу нәтижесінде алынған).

Бөлінген оттегінің теориялық және тәжірибелік көлемдерінің айырмашылығы, сәйкесінше ыдыраған сутегі асқын тотығының мөлшерінің айырмашылығы 5-7 %-дан аспау керек.

Ары қарай барлық кинетикалық шығындар бөлінген оттегі көлемінің уақытқа тәуелділігінің графигінің көмегімен анықталады.

Кварц колба шлиф арқылы мұздатқышпен (4) қосылады және сынап-кварц шамының (7) қорғаныш қабатының саңылауына қарама-қарсы орналастырылады. (5) және (6) шүмектерді ашып, өлшеуіш бюреткадағы сұйықтық деңгейін нөлге келтіреді, бұл үшін деңгейлер теңескенше теңестіруші ыдысты жоғары көтереді. Сосын шүмекті (5) жауып, қондырғының герметикалығына көз жеткізу қажет. Сосын мұздатқыштағы суды және шамды қосады. Шам қосылған мезетте секундомерді де қосады.

Бастапқыда бөлінген оттегінің көлемі әрбір 2 минут сайын өлшенеді. Реакция жылдамдығы өскен соң өлшеулер 30 с сайын жүргізіледі. Оттегі көлемі бюретка мен теңестіруші ыдыс (3) деңгейлері теңескен соң ғана өлшенеді. Өлшеулер дәлдігі 0,2-0,3 мл-ді құрайды.

220-230 мл газ бөлінген соң тәжірибе тоқтатылады. Тәжірибе тоқтатылған соң, шамды, мұздатқышты ағытып, кварц колбасы тағы да жуылады.

Сутегі асқын тотығының фотохимиялық ыдырауының ерітіндіде қоспалардың болуына және реакциялық ыдыс қабырғасының жай-күйіне сезімталдығы жоғары. Сутегі асқын тотығының фотохимиялық ыдырау жылдамдығын алынған асқын тотық концентрациясын өзгерту арқылы ғана емес, бір концентрациямен бірнеше кезектескен тәжірибелер жасау арқылы да зерттеуге болады. Реакция жылдамдығын 3 мл 0,03 М фенол ерітіндісін қосып, баяулатуға болады. Реакция жылдамдығы сәуле қарқындылығына да тәуелді. Мұны тексеру үшін реакциялық колба мен сәуле көзінің ара қашықтығын өзгертеді немесе сәуле бастапқы 15-30 минутта ғана беріліп, сәуле түсіру ұзақтығын өзгертеді. Сутегі асқын тотығының фотохимиялық ыдырауын реакциялық ыдыс диаметріне байланысты көлемі 150, 200, 250 см3 кварц колбаларды пайдаланып зерттеуге болады. Тәжірибе мен есептеу нәтижелері төмендегідей кестеге толтырылады:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| t, мин | VO2, мл | v = ΔVO2 /Δt | lg v |
|  |  |  |  |

Алынған тәжірибелік мәліметтер бойынша бөлінген оттегі көлемінің уақытқа тәуелділігінің кинетикалық қисығы тұрғызылады. Осы қисықты графикалық дифференциалдап (2-сурет), әрбір уақыт мезетіндегі реакция жылдамдығының мәні табылады:

v = ΔVO2 /Δt

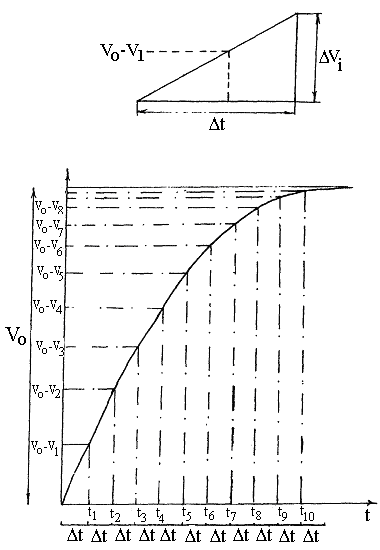
(Δt аралығын есептеу кезінде 2 минутқа тең етіп алған қолайлы) және v = f (t) графигі тұрғызылады. Тізбекті реакцияның жылдамдығының теңдеуінің

v = kn0eϕt,

логарифмдік формасы түзудің теңдеуі болып табылады:

lg v = lg kn0 + (ϕ / 2,3)t.

Реакция кезінде бастапқы зат мөлшері азаятындықтан, бұл теңдеу бойынша v = f (t) қисығының өсетін тармағының мәліметтерін ғана өңдеудің мәні бар.



2-сурет. Реакция өнімінің көбеюі бойынша реакция жылдамдығын анықтау үшін кинетикалық қисықты графикалық дифференциалдау.

lg v – t координаталарында график тұрғызып, ордината осін қиып өтетін кесінді бойынша kn0 мәні, ал көлбеу бұрышының тангенсі бойынша өсу константасы ϕ табылады. Сосын τ = 1/ϕ теңдеуі бойынша индукция периоды есептеледі.

**Сұрақтар**

1. Тізбекті реакциялардың қандай сатылары бар?
2. Қандай процестер тізбекті түрде өтеді?
3. Тізбекті реакцияның жылдамдығы қалай анықталады?
4. Сутегі асқын тотығының фотохимиялық ыдырау реакциясын қандай сатылармен өтеді?
5. Индукция периоды дегеніміз не және ол қалай анықталады?

**Әдебиеттер**

1. Ксандопуло Г.И. и др. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по практикуму “Химическая кинетика”. Алма-Ата: Издание КазГУ, 1985. 28 с.
2. Веденеев В.И., Герасимов Г.Н., Пурмаль А.П. // Журнал физической химии, т. 31, 1957.

**2-жұмыс (4-6 апта). Электрондық жұтылу спектрлері бойынша марганец (II) оксалаты ионының айрылу жылдамдығын анықтау ()**

**Жұмыстың мақсаты:** Электрондық жұтылу спектрлері бойынша марганец (II) оксалаты ионының айрылу жылдамдығын анықтау

**Тапсырмалар:**

1. Марганец (II) оксалаты ионы айрылғанда электрондық жұту спектрін тұрғызу.
2. Марганец (II) оксалаты ионы айрылғанда оптикалық тығыздықтың уақытқа әуелділігін алу.
3. – lg(ΔD/Δt) мәндерінің lg D мәндеріне тәуелділігі бойынша реакцияның жылдамдық константасы мен ретін есептеу.

Марганец (II) оксалаты комплексті ионының айрылуы келесі реакция теңдеуі бойынша өтеді:

[Mn(C2O4)3]4- = Mn2+ + 5/2C2O42- + CO2.

Бұл комплексті анион боялған, ал айрылу өнімдері – түссіз. Сондықтан химиялық реакцияның өтуін оптикалық тығыздық (D) бойынша бақылауға болады. Реакция жылдамдығы

v = k⋅Cn

теңдеуімен анықталады, мұндағы k – реакцияның жылдамдық константасы, С – зат концентрациясы, n – реакция реті. Зат концентрациясы оның оптикалық тығыздығына тура пропорционал С ≅ D болғандықтан, бұл теңдеуді келесі түрде жазуға болады:

v = k⋅Dn = - ΔD / Δt.

Реакция жылдамдығының теңдеуінің логарифмдік түрі түзудің теңдеуі болып табылады:

lg v = lg k + nlg D.

Жұмыстың жасалу реті төмендегідей:

1. 2 мл 0,1 М MnSO4 ерітіндісі мен 14 мл 0,1 М қымыздық қышқылының ерітіндісі араластырылады.
2. 8 мл алынған ерітінді 2 мл 0,01 М KMnO4 ерітіндісімен араластырылады. Бұл кезде комплексті тұз түзіледі, оны ерітінді түсінің өзгерісі бойынша байқауға болады.
3. Алынған ерітіндіні кюветаға жылдам құйып, толқын ұзындығы 400-ден 500 нм-ге дейінгі аралықта жұту спектрін түсіреді.
4. Жұту спектрін тұрғызып, максималды жұтудың толқын ұзындығын таңдайды.
5. 1- және 2-пункттердегідей ерітінділерді араластырып, алынған ерітіндіні кюветаға жылдам құйып, комплексті анионның максималды жұту толқын ұзындығының мәнінде оптикалық тығыздығын өлшейді.

Оптикалық тығыздықты өлшеу бастапқыда 0,5 минут сайын, сосын 1 минут, 2 минут сайын, ары қарай 2-4 минут сайын жүргізіледі. Оптикалық тығыздықтың мәні 0,1-ден аз болғанда өлшеулер тоқтатылады. Ерітіндінің өлшенген оптикалық тығыздықтарының мәндері бойынша реакция ретін және жылдамдық константасын анықтайды.

Бұл көрсеткіштерді анықтау үшін Вант-Гоффтың дифференциалдық әдісі қолданылады:

1. Оптикалық тығыздықтың D уақытқа t тәуелділігінің графигі тұрғызылады.
2. Графикалық дифференциалдау жүргізіледі.
3. – lg(ΔD/Δt) мәндерінің lg D мәндеріне тәуелділігінің графигі тұрғызылады.
4. Графиктен түзу ордината осін қиып өтетін кесінді бойынша реакцияның жылдамдық константасы, ал көлбеу бұрышының тангенсі бойынша реакция реті табылады.

Барлық өлшеулердің мәліметтері кестеге жазылады:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| t, мин | D | lg D | ΔD/Δt | – lg(ΔD/Δt) |
|  |  |  |  |  |

**Сұрақтар**

1. Оптикалық тығыздық дегеніміз не және ол зат концентрациясымен қалай байланысқан?
2. Химиялық реакцияның жылдамдығы қандай факторларға тәуелді?
3. Химиялық реакцияның реті дегеніміз не?

**3-жұмыс (8-10 апта). Жалын температурасын терможұптық әдіспен өлшеу,**

**терможұптарды дайындау және калибрлеу**

**Жұмыстың мақсаты:** Жалын температурасын терможұптық әдіспен өлшеу, терможұптарды дайындау және калибрлеу

**Тапсырмалар:**

1. Берілген материал сымдарынан терможұп дайындау.
2. Дайындалған терможұпты калибрлеу.
3. Терможұп көмегімен пропан-бутан-ауа қоспасының жалынының температурасын өлшеу.
4. Пропан-бутан-ауа қоспасының жалынының температуралық профилін тұрғызу.

Көптеген физика-химиялық процестердің, атап айтқанда, жалындардың негізгі көрсеткіштерінің бірі – температура. Жану кезінде өтетін процестер көп сатылы және өте күрделі болғандықтан, бұл жағдайда жалынның локальды температурасы туралы айтылады. Отындардың көп түрлілігіне, олардың жану шарттарына байланысты температураны өлшеудің ең оңтайлы әдісін пайдалану қажет, бұл әдіс көптеген факторларды: температураны өлшеу облысы, процесс динамикасы, сезімталдығы, өлшеулер дәлдігі және т.б. қанағаттандыратындай болу керек.

Температураны өлшеудің белгілі әдістеріне қысқаша шолу жасалады. Оларды екі топқа бөлуге болады – жанасатын және жанаспайтын әдістер.

Температураны өлшеудің жанасатын әдістері

Бұл бөлімде қарастырылатын әдістер зерттелетін нысанмен тікелей жанасуды немесе термоқабылдағышты зерттелетін ортаға енгізуді талап етеді.

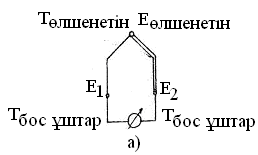
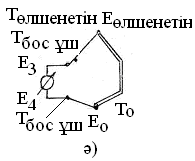
Термокедергі әдісі

Әдістің жұмыс істеу принципі заттардың температураны өлшегенде электр кедергісін өзгерту қасиетіне негізделген. Сезімтал элемент диаметрі миллиметрдің үлесін құрайды. Бірақ, элементтің үлкен өлшемдеріне байланысты бұл әдіспен жеке нүктедегі температураны өлшеуге болмайды. Сондай-ақ, кейбір ашық сезімтал элементтер (көбіне платиналы) процесс катализаторының қызметін атқаруы мүмкін, нәтижесінде мәліметтердің қателігі байқалады. Олар қандай да бір көлемнің орташа температурасын өлшеуге ыңғайлы.

Термоэлектрлік әдіс

Терможұптар көмегімен температураны өлшеу термоэлектрлік құбылыстардың заңдарын пайдалануға негізделген. Негізгі заңдарының бірі – Зеебек құбылысы бойынша әртүрлі материалдан тұратын тұйық электр тізбегінде, егер жанасу орны әртүрлі температурада болса, онда термоэлектрқозғаушы күш (термо – э.қ.к.) пайда болады.

Терможұп екі әртекті өткізгіштен – термоэлектродтардан тұрады. Әрбір электродтың бір ұшы екінші электродтың ұшымен дәнекерленген және зерттелетін ортаға енгізілетін “жұмысшы” ұшты түзеді. Қалған екі бос ұштарына термо-э.қ.к. өлшейтін аспап сымдары қосылады (1-сурет). Термо-э.қ.к. жұмысшы мен бос ұштардың температурасына және терможұп сымдарының материалының табиғатына ғана тәуелді. Жұмысшы ұштың температурасы өскен сайын термо-э.қ.к. өседі. Термо-э.қ.к. мәнінің температураға тәуелділігі терможұпты калибрлеуден соң температураны өлшеу үшін пайдалануға мүмкіндік береді.

1-сурет. Терможұптар көмегімен температураны өлшеудің жалпы принципі:

а) компенсациясыз, ә) компенсациялы.

Термо-э.қ.к. пайда болатын орындарда температура көрсетілген: Төлшенетін - өлшенетін температура, Тбос ұштар – бос ұштардың температурасы, Т0 – 0 °С-тағы температура.

Компенсациясыз әдіспен температураны өлшеу (1а-сурет) – қарапайым, бірақ біршама дәл емес. Себебі, бұл жағдайда анықталатын э.қ.к. (Е) әртекті өткізгіштердің қосылған орындарында сәйкес температураларда пайда болатын барлық термо-э.қ.к.-тердің алгебралық қосындысына тең:

Е = Е1 + Еөлшенетін + Е2,

мұнда Е1 ≠ - Е2, себебі бұл э.қ.к. екі түрлі терможұпта пайда болады. Терможұп материалының әртүрлілігін ескермей, яғни Е1 = - Е2 деп есептеп (әдетте Тбос ұштар мәні Төлшенетін мәніне қарағанда Т0 мәнінен өте көп өзгешеленбейді) , Төлшенетін – Тбос ұштар температуралар айырымы үшін э.қ.к.:

Е = Еөлшенетін

шамасын құрайды. Э.қ.к. мәнін дәлірек табу үшін Ебос ұштар шамасын қосу керек, ол Тбос ұштар – Т0 температуралар айырымы үшін э.қ.к. мәні болып табылады, демек

Едәл мәні = Еөлшенетін + Ебос ұштар

Осылайша, түзету енгізіліп, Төлшенетін мәннен Т0 мәніне дейін температура анықталады.

Компенсациялы әдісте (1ә-сурет) тіркелетін термо-э.қ.к. келесі шамаға тең:

Е = Е3 + Еөлшенетін – Е0 + Е4.

Бұл жағдайда Е3 = - Е4, себебі бұл нүктелердегі термо-э.қ.к. бос ұштарының температурасы бірдей жағдайда бір-біріне қарама-қарсы қосылған екі бірдей терможұппен байланысты. Демек:

Е = Еөлшенетін – Е0.

Е0 – 0 °С-тағы (мұзы бар судағы) терможұп үшін термо-э.қ.к. шамасы. Онда температура 0 °С-та Е шамасы нөлге тең, Т > 0 болса, Е > 0 және керісінше Т < 0 болса, Е < 0. Сондықтан Төлшенетін-Т0 айырымы үшін Е = Еөлшенетін.

Алынған өрнектер бойынша, бірінші жағдайда температураны өлшеу бос ұштардың температурасына тәуелді, ал бос ұштардың температурасы тәжірибе кезінде, сондай-ақ терможұпқа қосылатын өткізгіштердің материалына байланысты да өзгеруі мүмкін. Сондықта бұл әдіс температураны жалпы сипаттау үшін қолданылады.

Екінші әдіс қолайлырақ, себебі нәтижелер бос ұштардың температурасының өзгерісіне, терможұпқа қосылатын өткізгіштердің материалына тәуелді емес.

Терможұптар дайындалатын материалдарға бірқатар талаптар қойылады: олар өлшенетін температуралар аралығында өздерінің физикалық қасиеттерін өзгертпеу керек, тотықпау қажет, термо-э.қ.к. шамасы тек температураға тәуелді болу керек.

1-кестеде практикада жиі қолданылатын металдардың термо-э.қ.к. терможұптың платина өткізгішімен салыстыра келтірілген. Осы кесте бойынша өлшенетін температура үшін көрсетілген материалдардан жасалған терможұптардың термо-э.қ.к. бағалауға болады. 2-5-кестелерде стандартты терможұптар үшін термо-э.қ.к. мәндері берілген. Кестелердегі температуралардың максималды шамалары шекті жұмысшы температуралар болып табылады. Көрсетілген шектен асқанда нәтижелер материалдардың физикалық қасиеттері өзгеруіне байланысты қате болу мүмкін.

Терможұп сымдарының балқу температурасынан жоғары температураларды өлшеу қажет болғанда терможұпты өлшенетін ортаға периодты енгізу әдісін пайдалануға болады.

Терможұпты периодты енгізу әдісі

Терможұп периодты түрде *τ* периодпен температурасы Төлшенетін облыстан температурасы Т0 термостатталған көлемге ауыстырылады, *a* уақытта ол Төлшенетін температурада, ал (*τ* - *a*) уақытта басқа температурада болады. Көрсетілген аралықтар жылуқабылдағыш Т0 температураға дейін суымайтындай және Төлшенетін температураға дейін қызбайтындай етіп таңдап алынады, яғни жылу қабылдағыш белгілі бір Торташа орташа температураға ие болады, бұл мәнде жылу қабылдағыш өлшеу аймағына енгенде жылудың келуі температурасы төмен көлемге енгенде жылудың жоғалуымен бірдей болады.

Егер жылулық ағындар сәйкес температуралар айырымының сызықты функциясы болса, онда келесі теңдеуді жазуға болады:

.

 теңдігін пайдаланып, мұндағы *α* - жылу алмасу коэффициенті, С – терможұп материалының жылу сыйымдылығы, Т0 = 0 түрінде қабылдап, алдыңғы теңдеуді келесі түрге келтіреміз:

Төлшенетін = Торташа (R + Н),

мұндағы *Н = α2/α1*; *R = (τ/a)-1*. Егер R1 шамасын R2 шамасына өзгертсе, онда температураның жаңа мәні Торташа, 1 алынады.

Төлшенетін температура үшін көрсетілген теңдеулерді бірге шешу арқылы табылады:

.

Осылайша, терможұптың өлшеу және суыту облыстарында болу уақытының аралықтарының шамасын өзгертіп, терможұптың балқу температурасынан жоғары температураны анықтауға болады. Әдістің кемшілігі – бұл жалынның тек орташа температурасын өлшеуге мүмкіндік береді, себебі нақты бір нүктеде температураны өлшеуді орнықтыру қиын.

Жанасатын әдістердің кемшіліктері: радиациялық сәуле шығудан, термоэлектродтардың бетінде катализдік процестердің өту мүмкіндігінен жоғары температураларды өлшегенде айтарлықтай қателіктер болады. Жылдам өтетін процестерде терможұптардың инерциялығының маңызы зор (диаметрі өте кіші термосымдарды пайдалану қажет). Газ ағындарының жоғары жылдамдықтарында терможұп шынайы температураны емес, тежелу температурасын өлшейді.

Мұндай кемшіліктер жанаспайтын әдістерде жоқ. Бірнеше әдістердің негізгі принциптеріне тоқталамыз.

Температураны өлшеудің жанаспайтын әдістері

Айқындық әдіс

Дененің айқын температурасы Sλ сандық жағынан абсолют қара дене температурасына тең, бұл жағдайда берілген λ толқын ұзындығы үшін екі дененің де монохромат айқындықтары бірдей. Айқындық және шынайы Т температуралар арасындағы байланыс

,

мұндағы *ελТ* - өлшенетін дененің қаралық коэффициенті.

Газды орталар мен жалындардың айқындық температураларын өлшеу үшін оптикалық пирометрлер мен спектрлік аспаптар қолданылады. Визуалды оптикалық пирометрлермен температурасы өлшенетін көз айқындығы мен температурасы белгілі көздің, әдетте арнайы вольфрам шамының айқындығы салыстырылады.

Түс әдісі

Түстік температураны түстік пирометр көмегімен толқын ұзындығының екі мәніндегі сәулені монохромат айқындықтарының қатынасын өлшеу арқылы анықтайды, сосын Планк немесе Вин заңының көмегімен айқындық қатынасы бойынша температураны есептейді. Қара емес дененің түстік температурасы Тс мен шынайы температурасының Т арасындағы қатынас



өрнегімен беріледі, мұндағы *ε1* және *ε2* - *λ1* және *λ2* толқын ұзындықтары үшін зерттелетін ортаның сәулесінің қаралығының монохромат коэффициенттері.

Бұл әдіс айқындық әдісіне қарағанда дәлірек.

Спектрлік сызықтардың айналу әдісі

Бұл әдісте отынға немесе тікелей жалынға қандай да бір сілтілік металдың (натрий, литий және т.б.) тұздарын енгізу арқылы жалынды бояйды. Жалында металдардың тұздары диссоциацияланады да, сілтілік металдардың атомдары сызықты спектр шығарады. Боялған жалынның бір жағынан температуралық шам қояды. Бұл кезде жалынның екінші жағынан өлшенетін сәуле қарқындылығы Iс жалын сәулесінің қарқындылығы Iж мен жалыннан өткен шам сәулесінің қарқындылығының Iш(1-аж) қосындысына тең:

Ic = Iж + Iш(1-аж),

мұндағы аж – спектрлік сызық облысындағы жалынның жұту коэффициенті.

Жалын температурасы мен шамның айқындық температурасы тең болса Iш/аж= Iж, онда жалынның спектрлік сызықтар облысында шам сәулесін жұтуы спектрдің осы облысындағы жалынның өзінің шығаратын сәулесіне тең болады.

Бұл құбылыс спектрлік сызықтың айналуы деп аталады. Осылайша,

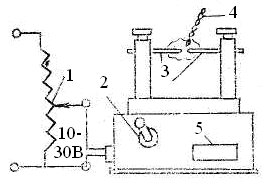
Ic = Iш⋅аж + Iш- Iш⋅аж және Ic = Iш.

Спектрлік аспаптың фокальды жазықтығында бұл жағдайда жалын жоқ жағдайдағыдай сәуленің үздіксіз спектрі байқалады.

Егер жалын температурасы шамның айқындық температурасынан төмен немесе жоғары болса, онда спектрлік сызық оның фонына қарағанда қаралау немесе ашықтау болады. Шамның қызуын реттеп, айналу мезетіне жетіп, шамның айқындық температурасы бойынша жалын температурасын анықтайды.

Терможұптарды дайындау

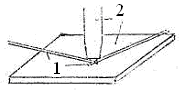
Терможұптар әртүрлі тәсілдермен (2-5-суреттер) дайындалады. Диаметрі 0,5 мм және одан көп сымдарды алдын-ала ұштарын біріктіріп, орап, сосын доғалық разрядта (2-сурет) немесе нүктелік әдіспен (3-сурет) дәнекерлейді.



2-сурет. Терможұптарды доғада дәнекерлеу қондырғысының сызбанұсқасы:

1 – кернеуді реттегіш, 2 – қосқыш, 3 – көмір электродтар,

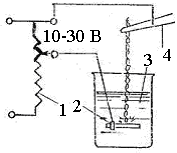
4 – доғалық разрядтағы терможұп сымдары, 5 – бурасы бар ыдыс.



3-сурет. Терможұптарды нүктелік әдіспен дәнекерлеу сызбанұсқасы:

1 – терможұп сымдары, 2 – нүктелік дәнекерлеу қондырғысының электродтары.

Жіңішке сымдарды ұштарын ораған соң спирт немесе басқа сұйықтық ортасында дәнекерлеуге болады. Сымдарға қысқыштардың көмегімен ток беріледі, осы сымдарға спиртке батырылған көмір электродтармен жанастыру арқылы тізбек тұйықталады (4-сурет).

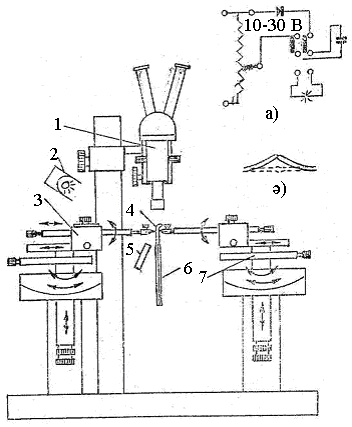


4-сурет. Терможұптарды спирт ортада дәнекерлеу сызбанұсқасы:

1 – кернеуді реттегіш, 2 – көмір электрод, 3 – сұйық орта,

4 – терможұп сымдарын ұстағыш.

Диаметрі бірнеше ондық микрометр өте жіңішке сымдарды микроскоп астында дәнекерлейді. Микрометрлік құрылғылар көмегімен сымдардың ұштарын біріктіреді де, дәнекерлейтін орынды тотықпау үшін аргон немесе басқа инертті газбен үрлейді. Сосын сымдар арқылы конденсатор разряды нәтижесінде ток жіберіледі. Разряд энергиясы тәжірибелік жолмен анықталады (5-сурет).



5-сурет. Микротерможұптарды дәнекерлеу қондырғысының сызбанұсқасы:

а) электрлік қосу сызбанұсқасы, ә) разряд алдындағы сымдардың орны

(дәнекерлеуден кейін – үзік сызықтармен)

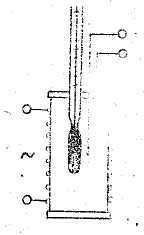
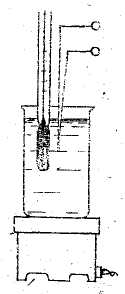
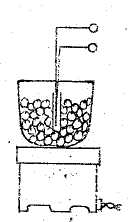
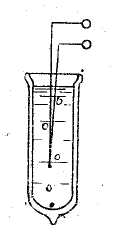
1 – микроскоп, 2 – жарықтандыру шамы, 3 – ұстағышы бар сол микроманипулятор, 4 – терможұп сымдары, 5 – инертті газды беру, 6 – терможұпты бекіткіш, 7 – ұстағышы бар оң микроманипулятор. Стрелкамен микроманипулятор түйіндерінің дөрекі немесе баяу орын ауыстыру бағыттары көрсетілген.

Терможұпты дайындаған соң вакуумда немесе кремнийлі сұйықтықтардың жану өнімдерінің тогында сыртынан кремний диоксидінің қабатымен қаптап, балқытады. Қаптама терможұпты жалынға енгізгенде катализдік процестерді азайту және сымдардың тотығуын болдырмау үшін қажет.

Егер терможұп стандартты терможұп сымдарынан дайындалса, онда оны калибрлеусіз пайдалана беруге болады. Сымдардың материалының құрамы белгісіз болса, онда терможұпты калибрлейді. Бұл мақсатта 1-суреттегідей тізбек құрастырады. Температураның жоғары емес шектері үшін (200-300 °С-қа дейін) термотұрақты сұйықтық немесе газды ортаға орналастырылған терможұптың термо-э.қ.к. мәнін термометр немесе эталонды терможұп көмегімен өлшенген орта температурасымен салыстырады.

Жоғары температуралар үшін терможұпты тұрақты термометрлік нүктелер бойынша калибрлеуге болады. 6-суретте калибрлеу тәсілдері көрсетілген. Қарапайымдырақ болу үшін тек жұмысшы терможұп бейнеленген.

Алынған нәтижелер бойынша термо-э.қ.к. – температура графигін тұрғызады да, жалын температурасын анықтайды.

а ә б в

6-сурет. Терможұптарды калибрлеу тәсілдері:

а) газда, ә) сұйықтықта, б) термометрлік балқу нүктелері бойынша,

в) төмен температурада қайнайтын сұйықтықтардың қайнауы бойынша.

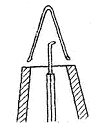
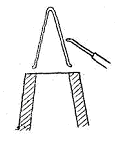
Эксперименттік бөлім

Қажетті қондырғы (7-сурет):

1. Бекітілген терможұп пен жанарғысы бар қондырғы
2. Потенциометр (КСП-4 немесе соған ұқсас)
3. Катетометр
4. Жанғыш жүйе, оны дайындау
5. Нөл-термостат (немесе еритін мұзы бар су)
6. Коммутациялық блок.

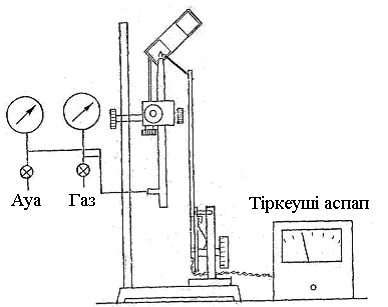
Жұмысты орындау реті:

1. Көзбен қондырғыдағы терможұптың бүтіндігін және оның жанарғының ішінде кесінді жазықтығынан төмен (ішкі зондтауда) немесе жанарғыдан тыс (сыртқы зондтауда) орналасқанын тексереді.
2. Нөл-термостаттың сумен суытуын жалғап, оны электр желісіне қосады. Ол жоқ жағдайда терможұптың суық дәнекері еритін мұзы бар суға салуға болады.

Терможұпты жанарғының Терможұпты жалынның

ішкі жағына енгізу сыртқы жағына енгізу



7-сурет. Жалын температурасын өлшеу қондырғысының сызбанұсқасы

1. Ауаны беру компрессорын қосып, реттеуші бұрандамен ауаның қажет шығынын (калибрлеу графигі бойынша) орнатады.
2. Жанғыш газды беру бұрандасын ашып, газдың қажет шығынын орнатады. Отынның концентрациясы сосын калибрлеу графигі бойынша есептеледі. Қоспадағы отын концентрациясын оқытушы береді.
3. Газды қоспа жағылады.
4. Жалын шырағы тұрақтанған соң, терможұп дәнекері жанарғы кесіндісінен (жалынның көгілдір конусының ½ биіктігінің шамасында) 5-6 мм жоғары, ал терможұп сымдары жанарғы саңылауының ортасында болатындай етіп, жанарғыны ақырындап төмен түсіреді.
5. Потенциометр мен диаграмма қозғалысының қозғалтқышын электр тогына қосады.
6. Коммутациялық блокта “өлшеу-нөл” тумблерін “өлшеу” жағдайына қосып, потенциометр кареткасының қозғалыс бағытын тексереді. Егер каретка э.қ.к. азаю жағына қарай бағытталса, онда терможұп “+” “-“ тумблерін басқа жағдайға ауыстырады.
7. Катетометр шкаласының жарықтану шамын қосады, көзбен катетометр окулярындағы көлденең сызықтың жалынның жарқырау аумағының шекарасымен бірігуін тексереді. Жалын аумағының шекарасы көлденең сызықтан ауытқығанда қажет жаққа айналы жүйені бұрып, олардың бірігуіне қол жеткізеді (қысатын бұранданы босату арқылы). Сосын қысқыш бұранданы қайтадан бекітеді.
8. Көрсетілген дайындық операцияларынан соң температураны өлшейді. Бұл үшін катетометрмен жалынның жарқырау аумағының ішкі шекарасын 0 санақ басы деп алып, терможұп ұшының ортасына дейінгі қашықтықты өлшейді. Терможұп ұшының орталық бөлігі мен жарқырау аумағының ішкі шекарасының бастапқы ара қашықтығы 2 мм-ден аз болмау керек. Қашықтықты өлшеу кем дегенде 3 рет жүргізіледі және нәтижелердің орташа мәні есептеледі. Тәжірибе нөмірін диаграммаға жазады.
9. Сосын тумблерді “нөл” жағдайына ауыстырып, бөліктері бар барабан көмегімен терможұпты жарқырау аумағына қарай жылжытады. Сосын тумблерді қайтадан “өлшеу” жағдайына ауыстырып, жаңа орындағы қашықтықты өлшейді.
10. Бұл операцияларды жарқырау аумағына жеткенше немесе жарқырау аумағына терможұп жақындағанда аэродинамикалық ұйытқулар пайда болғанша қайталайды. Өлшеулер аяқталған соң терможұпты қайтадан суық аумаққа ауыстырады, бұл үшін барабанды кері қарай айналдырады. Сосын оны жанарғы ішіне түсіреді. Тек содан кейін ғана жалынды сөндіруге болады. Сыртқы аумақты зондтауда терможұпты жалыннан шығарады.
11. Потенциометрдің “диаграмма” тумблерін және потенциометрдің өзін ток көзінен ағытады.
12. Катетометрдің жарықтан шамын сөндіреді.
13. Нөл-термостатты және сумен салқындатуды ағытады.
14. Газ бен ауа бұрандаларын жабады.

Жалынның сырт жағынан температураны өлшеу осыған ұқсас түрде жүргізіледі. Айырмашылығы жанарғыны қозғалту қажет емес. Терможұпты бірден суық аумаққа жалын шебінің ұйытқуы байқалмағанша енгізіп, барабан көмегімен жоғары температуралық облысқа жылжытады. Өлшеулер аяқталған соң оны жалыннан сыртқа шығарады.

Тәжірибе нәтижелерін өрнектеу

Жұмыс журналда келесі кесте бойынша өрнектеледі:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Z1 | Z2 | ΔZ | Zорташа, мм | Eорташа, мВ | Т, °С | Т, К |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

Бірінші бағанаға терможұптың бір орын үшін тәжірибе нөмірі жазылады. 2- және 3-бағаналарға терможұптың ұшының ортасы мен жарқырау аумағының ішкі шекарасының орнын әрбір өлшеуге сәйкес биіктік мәндері (0,01 мм дәлдікпен) жазылады. 4-бағанаға алынған айырымдар есептеледі. 5-ге бір тәжірибе үшін қашықтықтың орташа мәні анықталады. Диаграммалық лентадағы потенциометр шкаласы бойынша (немесе орташаланған сигнал биіктігін өлшеу арқылы) берілген тәжірибе үшін э.қ.к. мәні анықталып, 6-бағанаға жазылады. Сосын 2-5-кестелерді немесе көрсетілген терможұп үшін калибрлеу графиктерін пайдаланып, өлшенген температура шамасын °С бойынша тауып, оны кельвинге айналдырып, соңғы бағанаға жазады.

Z және Т мәндері бойынша Z (мм) – Т (К) координаталарында қорытынды график тұрғызылады.

1-кесте. Платинаға қатысты металдардың термо э.қ.к. (мВ)

Ыстық түйін температурасы 100 °С, суық – 0 °С.

“+” белгісі суық түйінде термоток платинаға баратынын көрсетеді.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Fe | + 1,88 | Ir | + 0,68 | Хромель | + 2,7÷3,1 |
| Mo | + 1,22 | Rh | + 0,65 | Нихром | + 1,5÷2,5 |
| Au | + 0,78 | Mn | + 0,6 | Манганин | + 0,8 |
| W | + 0,77 | Sn | + 0,46 | Pt 90/Rh 10 | + 0,64 |
| Cu | + 0,77 | Al | + 0,4 | Алюмель | -1,0 ÷ -1,4 |
| Ag | + 0,74 | Ni | - 1,5 | Константан | -3,3 ÷ -3,5 |
| Zn | + 0,70 | Ca | - 1,7 | Копель | - 4,0 |

2-кесте. Вольфрам-рений ВР 5/20 терможұбы үшін Цельсий градустарын абсолюттік милливольттерге ауыстыру кестесі, бос ұштар Т = 0 °C

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| °С | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 1 °С-қа орт. |
|  | милливольттер | | | | | | | | | | мВ |
| 0 | 0 | 0,125 | 0,251 | 0,378 | 0,506 | 0,635 | 0,768 | 0,902 | 1,039 | 1,179 | 0,0132 |
| 100 | 1,32 | 1,463 | 1,609 | 1,758 | 1,909 | 2,061 | 2,214 | 2,368 | 2,524 | 2,681 | 0,0152 |
| 200 | 2,84 | 3,000 | 3,161 | 3,323 | 3,455 | 3,648 | 3,84 | 3,975 | 4,14 | 4,305 | 0,0163 |
| 300 | 4,47 | 4,636 | 4,802 | 4,968 | 5,135 | 5,302 | 5,469 | 5,636 | 5,804 | 5,97 | 0,0167 |
| 400 | 6,14 | 6,309 | 6,478 | 6,647 | 6,81 | 6,98 | 7,15 | 7,32 | 7,49 | 7,661 | 0,0169 |
| 500 | 7,83 | 7,999 | 8,167 | 8,335 | 8,503 | 8,671 | 8,839 | 9,007 | 9,175 | 9,343 | 0,0168 |
| 600 | 9,51 | 9,676 | 9,842 | 10,008 | 10,174 | 10,34 | 10,51 | 10,67 | 10,838 | 11,004 | 0,0166 |
| 700 | 11,17 | 11,335 | 11,500 | 11,665 | 11,923 | 12,157 | 12,321 | 12,484 | 12,484 | 12,647 | 0,0164 |
| 800 | 12,81 | 12,973 | 13,136 | 13,299 | 13,462 | 13,624 | 13,786 | 13,94 | 14,109 | 14,270 | 0,0162 |
| 900 | 14,43 | 14,59 | 14,749 | 14,907 | 15,06 | 15,22 | 15,378 | 15,53 | 15,69 | 15,84 | 0,0157 |
| 1000 | 16,00 | 16,15 | 16,308 | 16,461 | 16,61 | 16,76 | 16,92 | 17,69 | 17,22 | 17,37 | 0,0152 |
| 1100 | 17,52 | 17,67 | 17,820 | 17,968 | 18,117 | 18,26 | 18,41 | 18,56 | 18,70 | 18,85 | 0,0148 |
| 1200 | 19,0 | 19,14 | 19,289 | 19,435 | 19,579 | 19,72 | 19,86 | 20,00 | 20,149 | 20,29 | 0,0143 |
| 1300 | 20,43 | 20,57 | 20,700 | 20,847 | 20,98 | 21,121 | 21,158 | 21,934 | 21,53 | 21,665 | 0,0137 |
| 1400 | 21,80 | 21,935 | 22,071 | 22,214 | 22,33 | 22,47 | 22,60 | 22,73 | 22,868 | 22,999 | 0,0133 |
| 1500 | 23,13 | 23,261 | 23,359 | 23,521 | 23,65 | 23,778 | 23,906 | 24,03 | 24,159 | 24,285 | 0,0128 |
| 1600 | 24,41 | 24,53 | 24,659 | 24,783 | 24,906 | 25,028 | 25,15 | 25,27 | 25,39 | 25,57 | 0,0122 |
| 1700 | 25,63 | 25,75 | 25,868 | 25,98 | 16,104 | 26,221 | 26,338 | 26,454 | 26,570 | 26,685 | 0,0117 |

3-кесте. Платинородий-платина ПП терможұбы үшін Цельсий градустарын абсолюттік милливольттерге ауыстыру кестесі, бос ұштар Т = 0 °C

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| °С | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 1 °С-қа орт. |
|  | милливольттер | | | | | | | | | | мВ |
| - | - | -0,055 | -0,109 | - | - | - | - | - | - | - | 0,0055 |
| 0 | 0 | 0,057 | 0,115 | 0,176 | 0,237 | 0,301 | 0,366 | 0,432 | 0,500 | 0,569 | 0,0060 |
| 100 | 0,640 | 0,712 | 0,786 | 0,861 | 0,937 | 1,014 | 1,093 | 1,173 | 1,254 | 1,337 | 0,0070 |
| 200 | 1,421 | 1,508 | 1,596 | 1,684 | 1,772 | 1,861 | 1,950 | 2,040 | 2,130 | 2,220 | 0,0084 |
| 300 | 2,311 | 2,402 | 2,494 | 2,586 | 2,678 | 2,773 | 2,866 | 2,960 | 3,054 | 3,149 | 0,0092 |
| 400 | 3,204 | 3,339 | 3,435 | 3,531 | 3,627 | 3,723 | 3,819 | 3,916 | 4,014 | 4,112 | 0,0094 |
| 500 | 4,211 | 4,311 | 4,410 | 4,509 | 4,609 | 4,709 | 4,810 | 4,911 | 5,012 | 5,113 | 0,0097 |
| 600 | 5,214 | 5,316 | 4,419 | 5,522 | 5,625 | 5,728 | 5,832 | 5,936 | 6,041 | 6,146 | 0,0102 |
| 700 | 6,251 | 6,356 | 6,462 | 6,568 | 6,675 | 6,782 | 6,889 | 6,996 | 7,104 | 7,214 | 0,0105 |
| 800 | 7,323 | 7,432 | 7,541 | 7,651 | 7,761 | 7,871 | 7,982 | 8,093 | 8,205 | 8,317 | 0,0108 |
| 900 | 8,429 | 8,541 | 8,654 | 8,767 | 8,881 | 8,995 | 9,109 | 9,223 | 9,338 | 9,453 | 0,0112 |
| 1000 | 9,569 | 9,685 | 9,801 | 9,921 | 10,036 | 10,153 | 10,271 | 10,389 | 10,507 | 10,626 | 0,0115 |
| 1100 | 10,745 | 10,864 | 10,984 | 11,104 | 11,224 | 11,345 | 11,466 | 11,587 | 11,709 | 11,831 | 0,0119 |
| 1200 | 11,954 | 12,074 | 12,194 | 12,315 | 12,435 | 12,555 | 12,675 | 12,795 | 12,916 | 13,038 | 0,0120 |
| 1300 | 13,158 | 13,279 | 13,399 | 13,520 | 13,640 | 13,760 | 13,880 | 14,000 | 14,121 | 14,241 | 0,0120 |
| 1400 | 14,361 | 14,481 | 14,601 | 14,722 | 14,842 | 14,962 | 15,082 | 15,202 | 15,323 | 15,443 | 0,0120 |
| 1500 | 15,563 | 15,683 | 15,804 | 15,925 | 16,045 | 16,165 | 16,285 | 16,405 | 16,526 | 16,640 | 0,0120 |
| 1600 | 16,766 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

4-кесте. Хромель-алюмель ХА терможұбы үшін Цельсий градустарын абсолюттік милливольттерге ауыстыру кестесі, бос ұштар Т = 0 °C

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| °С | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 1 °С-қа орт. |
|  | милливольттер | | | | | | | | | | мВ |
| - | - | -0,39 | -0,77 | - | - | - | - | - | - | - | 0,0380 |
| 0 | 0 | 0,40 | 0,80 | 1,20 | 1,61 | 2,02 | 2,43 | 2,85 | 3,26 | 3,68 | 0,0405 |
| 100 | 4,10 | 4,51 | 4,92 | 5,33 | 5,73 | 6,13 | 6,53 | 6,93 | 7,33 | 7,73 | 0,0405 |
| 200 | 8,13 | 8,53 | 8,93 | 9,34 | 9,74 | 10,15 | 10,56 | 10,97 | 11,38 | 11,80 | 0,0405 |
| 300 | 12,21 | 12,62 | 13,04 | 13,45 | 13,87 | 14,29 | 14,72 | 15,14 | 15,56 | 15,98 | 0,0415 |
| 400 | 16,40 | 16,83 | 17,25 | 17,67 | 18,09 | 18,51 | 18,94 | 19,37 | 19,79 | 20,22 | 0,0425 |
| 500 | 20,65 | 21,08 | 21,50 | 21,93 | 22,35 | 22,78 | 23,21 | 23,63 | 24,06 | 24,49 | 0,0430 |
| 600 | 24,91 | 25,34 | 25,76 | 26,19 | 26,61 | 27,04 | 27,46 | 27,88 | 28,30 | 28,73 | 0,0430 |
| 700 | 29,15 | 29,57 | 29,99 | 30,41 | 30,83 | 31,24 | 31,66 | 32,08 | 32,49 | 32,91 | 0,0415 |
| 800 | 33,32 | 33,72 | 34,13 | 34,55 | 34,95 | 35,36 | 35,76 | 36,17 | 36,57 | 36,97 | 0,0415 |
| 900 | 37,37 | 37,77 | 38,17 | 38,57 | 38,97 | 49,36 | 39,76 | 40,15 | 40,54 | 40,93 | 0,0395 |
| 1000 | 41,32 | 41,71 | 42,09 | 42,48 | 42,87 | 43,26 | 43,64 | 44,02 | 44,40 | 44,78 | 0,0395 |
| 1100 | 45,16 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

5-кесте. Хромель-копель ХК терможұбы үшін Цельсий градустарын абсолюттік милливольттерге ауыстыру кестесі, бос ұштар Т = 0 °C

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| °С | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 1 °С-қа орт. |
|  | милливольттер | | | | | | | | | | мВ |
| - | - | -0,64 | -1,27 | -1,89 | -2,50 | -3,11 | - | - | - | - | 0,061 |
| 0 | 0 | 0,65 | 1,31 | 1,98 | 2,66 | 3,35 | 4,05 | 4,76 | 5,48 | 6,21 | 0,066 |
| 100 | 6,95 | 7,69 | 8,43 | 9,18 | 9,93 | 10,69 | 11,46 | 12,24 | 13,03 | 13,84 | 0,073 |
| 200 | 14,66 | 15,48 | 16,30 | 17,12 | 17,95 | 18,77 | 19,60 | 20,43 | 21,25 | 22,08 | 0,079 |
| 300 | 22,91 | 23,75 | 24,60 | 25,45 | 26,31 | 27,16 | 28,02 | 28,89 | 29,76 | 30,62 | 0,084 |
| 400 | 31,49 | 32,35 | 33,22 | 34,08 | 34,95 | 35,82 | 36,68 | 37,55 | 38,42 | 39,29 | 0,086 |
| 500 | 40,16 | 41,03 | 41,91 | 42,79 | 43,68 | 44,56 | 45,45 | 46,34 | 47,23 | 48,12 | 0,087 |
| 600 | 49,02 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

6-кесте. Тұрақты термометрлік нүктелер

|  |  |
| --- | --- |
| Процесс | Т, °С |
| Азоттың қайнауы | -195,8 |
| Сынаптың қатуы | -38,87 |
| Мұздың балқуы | 0,00 |
| Нафталиннің балқуы | 80,1 |
| Судың қайнауы | 100,00 |
| Қалайының қатуы | 231,9 |
| Кадмийдің қатуы | 320,9 |
| Қорғасынның қатуы | 327,3 |
| К2Cr2O7 балқуы | 397,5 |
| Мырыштың қатуы | 419,5 |
| Сурьманың қатуы | 630,5 |
| Алюминийдің қатуы | 660,1 |
| NaCl балқуы | 800,4 |
| Na2SO4 балқуы | 884,0 |
| Күмістің қатуы | 960,8 |
| K2SO4 балқуы | 1069,1 |
| Мыстың қатуы | 1083 |
| Никельдің қатуы | 1453 |

**Сұрақтар**

1. Температураны өлшеудің қандай әдістері бар?
2. Терможұп дегеніміз не және оның температураны өлшеу принципі қандай?
3. Терможұптар қандай материалдардан және қалай дайындалады?
4. Терможұптарды қалай калибрлейді?
5. Температураны жанаспайтын әдістермен қалай өлшейді?

**Әдебиеттер**

1. Ксандопуло Г.И. и др. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по практикуму “Методы исследования пламен”. Алма-Ата: Издание КазГУ, 1985. 37 с.
2. Кадышевич А.Е. Измерения температуры пламени. Физические основы и методы. М.: Металлургиздат, 1961.
3. Измерение температур пламен. Сб. статей (под ред. А. Кадышевича). 1954.
4. Похил П.Ф., Мальцев В.М., Зайцев В.М. Методы исследования процессов горения и детонации. М.: Наука, 1969.
5. Ксандопуло Г.И. Химия пламени. М.: Химия, 1980.
6. Фристром Р.М., Вестенберг А.А. Структура пламени. М.: Металлургия, 1969.

**4-жұмыс (11-12 апта). Жалындағы жылу бөлінудің көлемдік жылдамдығынтемпература профилі бойынша есептеу**.

**5-жұмыс (13-14 апта). Жанғыш қоспалардың адиабаталық сипатамаларын термодинамикалық есептеу**