

I. Chemia nieorganiczna:

1. Budowa i właściwości atomów, orbitale atomowe i konfiguracja elektronowa, prawo okresowości pierwiastków, najważniejsze właściwości fizyczne i chemiczne pierwiastków.
2. Właściwości i opis wiązań chemicznych (kowalencyjnych, jonowych, metalicznych), teoria wiązań walencyjnych i orbitali molekularnych, budowa prostych cząsteczek, rodzaje oddziaływań międzycząsteczkowych, wiązania wodorowe. Związki kompleksowe, teoria pola ligandów.
3. Struktura stałych substancji nieorganicznych, w tym budowa i właściwości metali i półprzewodników, elementy teorii pasmowej ciała stałego.
4. Główne rodzaje reakcji chemicznych: dysocjacji, kwasowo-zasadowe, wytrącania/rozpuszczania osadów, kompleksowania, utleniania/redukcji, hydroliza; teoria Brønsteda kwasów i zasad, mocne/słabe kwasy i zasady, bufony, wskaźniki pH, czynniki decydujące o rozpuszczalności osadów, właściwości i trwałość związków kompleksowych, elementy elektrochemii. Najważniejsze wielkości opisujące reakcje chemiczne: stała równowagi, iloczyn rozpuszczalności, stała dysocjacji. Rola różnego rodzaju reakcji chemicznych w środowisku naturalnym.
5. Ogólna charakterystyka najważniejszych związków nieorganicznych: tlenków, wodorotlenków, kwasów, wodoroków, wybranych soli oraz powiązanie ich właściwości z położeniem pierwiastka w układzie okresowym. Rozpuszczalność w wodzie związków nieorganicznych, postać jonów w roztworach wodnych. Metody syntezy związków nieorganicznych. Podstawowe informacje o syntezie nanocząstek nieorganicznych.
6. Sposoby wyrażania składu mieszaniny, ułamki molowe, stężenia. Przeliczanie stężeń.
7. Reakcje i identyfikacja: kationów metali bloków s, d i p, anionów, soli. Właściwości spektroskopowe kompleksów, miareczkowanie kompleksometryczne

II. Chemia organiczna:

1. Nomenklatura związków organicznych
2. Alkany - substytucja wolnorodnikowa; stereochemia i stereoizomery
3. Alkeny - struktura, otrzymywanie i reaktywność
4. Aromatyczność - podstawienie elektrofilowe; otrzymywanie związków aromatycznych
5. Halogenopochodne alkilowe – otrzymywanie; podstawienie nukleofilowe
6. Alkohole, fenole - otrzymanie i reakcje
7. Etery; kwasy karboksylowe; aldehydy i ketony; aminy - otrzymywanie i właściwości fizyczne
8. Związki heterocykliczne.
9. Mechanizmy reakcji: mechanizmów reakcji: podstawienia wolnorodnikowego, addycji elektrofilowej, podstawienia nukleofilowego, eliminacji, podstawienia elektrofilowego, addycji nukleofilowej.
10. Podstawowe techniki laboratoryjne w Chemii organicznej: krystalizacja, ekstrakcja, destylacja, destylacja pod zmniejszonym ciśnieniem, chromatografia

III. Chemia Fizyczna

1. Zasady termodynamiki, podstawowe funkcje termodynamiczne i ich właściwości. Opis gazu doskonałego.
2. Zastosowanie funkcji termodynamicznych do opisu zjawisk i procesów chemicznych. Wyznaczanie funkcji termodynamicznych oraz ich zmian.
3. Warunki równowagi w układach wielofazowych jedno- i wieloskładnikowych. Reguła faz. Interpretacja diagramów fazowych.
4. Termodynamika fazy powierzchniowej. Mechanizmy tworzenia i rozwijania powierzchni. Zjawiska na granicy różnych faz. Napięcie powierzchniowe. Koloidy i surfaktanty - właściwości, zastosowania, procesy agregacji.
5. Właściwości materii – polarność cząsteczek, momenty dipolowe, dielektryki

5. Zjawiska transportu w gazach, cieczach, ciałach stałych.
6. Podstawy kinetyki chemicznej. Stała szybkości reakcji. Równania kinetyczne, wyznaczenie stałych szybkości i rzędu reakcji. Reakcje złożone. Teoria zderzeń aktywnych, teoria kompleksu aktywnego. Kataliza. Obliczanie kinetycznych parametrów reakcji chemicznych.
7. Podstawy elektrochemii: jonika – aktywność a stężenie jonów w roztworze, teoria Debye'a-Hückela. Ruchliwość jonów, przewodnictwo elektrolitów.
7. Podstawy elektrochemii: elektrodyka - opis równowag jonowych, przyczyny powstawania różnicy potencjałów na granicy faz, równanie Nernsta. Półogniwa, rodzaje i zachodzące w nich reakcje. Ogniwa galwaniczne w stanie równowagi i w czasie pracy, siła elektromotoryczna. Podstawy kinetyki elektrochemicznej. Elektroliza. Kinetyka procesów elektrodowych przebiegających w różnych warunkach fizykochemicznych.
8. Zastosowanie podstaw fizykochemii w opisie właściwości nanomateriałów.

IV. Chemia analityczna

1. Analiza chemiczna: analiza ilościowa i jakościowa. Klasyczne i instrumentalne metody analizy. Analit, matryca, interferent. Sygnał analityczny. Analiza głównych składników, analiza śladowa. Specjacja. Metody absolutne i porównawcze.
2. Granica wykrywalności i granica oznaczalności. Czułość metody analitycznej.
3. Wzorce i materiały z certyfikowaną zawartością analitów.
4. Pobieranie i przygotowanie próbek do analizy. Błędy w oznaczeniach analitycznych. Kryteria wyboru metody analizy instrumentalnej.
5. Metody spektroskopowe: spektroskopia UV-Vis, spektrometria atomowa absorbcyjna i emisyjna, analiza fluorescencyjna, spektrometria mas.
6. Metody elektroanalityczne: potencjometria, techniki prądowe: chronoamperometria, chronokulometria, voltamperometria, zateżnienie elektrochemiczne. Metody chromatograficzne i elektromigracyjne.
7. Metody złożone. Miniaturowe układy do analizy instrumentalnej.

V. Chemia kwantowa

1. Fizyczne podstawy mechaniki kwantowej. Równanie Schrödingera. Hamiltoniany. Postulat Borna: probabilistyczna interpretacja funkcji falowej. Obserwable. Zasada nieoznaczoności.
2. Klasyfikacja rozwiązań równania Schrödingera. Widmo dyskretne i ciągłe. Częstka swobodna. Reprezentacja położeniowa i pędowa. Prostokątna jama potencjału.
3. Symetrie. Obroty. Reprezentacje grup. Teoria grup a mechanika kwantowa.
4. Oscylator harmoniczny. Moment pędu i rotator sztywny. Częstka w polu centralnym. Atom wodoru. Spin i równanie Pauliego.
5. Metody przybliżone mechaniki kwantowej. Metoda wariacyjna. Rachunek zaburzeń niezależny od czasu. Rachunek zaburzeń zależny od czasu. Złota reguła Fermiego.
6. Pęd kinetyczny i kanoniczny. Prąd. Niezmienniczość względem cechowania. Oddziaływanie układu z polem zewnętrznym. Efekt Zeemana. Efekt Starka. Emisja i absorpcja promieniowania. Podstawy teoretyczne spektroskopii optycznych. Efekt Ramana.
7. Przybliżenie Borna-Oppenheimera.
8. Podstawy teorii grup punktowych.
9. Związek spinu ze statystyką. Symetria permutacyjna funkcji falowej dla układu wielu ciał. Wyznacznik Slatera. Metoda pola średniego, przybliżenie jednoelektronowe.
10. Równania Hartree-Focka. Metoda pola samouzgodnionego. Przybliżenie Roothaana.
11. Konfiguracje elektronowe atomów. Termy atomowe. Podstawy spektroskopii atomowej.
12. Teoria orbitali molekularnych. Konfiguracje elektronowe cząsteczek. Istota wiązania chemicznego.
13. Korelacja elektronowa.
14. Kwantowy opis wzbudzeń elektronowych, drgań i rotacji cząsteczek z odniesieniem do spektroskopii rotacyjnej, oscylacyjnej i elektronowej.

VI. Spektroskopia

Podstawy spektroskopii UV VIS, IR, Ramana oraz NMR. Interpretacja widm, zastosowania w chemii.

VII. Chemia jądrowa i radiacyjna

1. Dozymetria i ochrona radiologiczna. Biologiczne skutki oddziaływania promieniowania na organizmy żywe. Dawka pochłonięta i ekspozycyjna, równoważnik dawki, moc dawki. Jednostki dawki. Osłony przed promieniowaniem. Obliczanie dawki i mocy dawki na podstawie aktywności źródła, uwzględnianie odległości i osłon. Sposoby pomiaru promieniowania: podstawowe informacje o budowie i sposobie funkcjonowania: detektorów gazowych (proporcjonalne, komora jonizacyjna, Geigera-Müllera), scyntylicyjnych, półprzewodników – rodzaje mierzonego promieniowania. Pomiary dawki.

2. Powstawanie pierwiastków w przyrodzie. Nukleosynteza: pierwotna nukleosynteza, procesy spalania, cykl CNO, procesy r, s i p. Najważniejsze izotopy promieniotwórcze na Ziemi pochodzące z nukleosyntezy. Promieniowanie kosmiczne. Reakcje jądrowe z udziałem promieniowania kosmicznego w atmosferze i na powierzchni Ziemi. Reakcje jądrowe w głębi Ziemi. Izotopy radiogeniczne – pochodzące z rozpadów. Najważniejsze naturalne izotopy promieniotwórcze. Izotopy antropogeniczne – najważniejsze sposoby uwalniania wytworzonych przez człowieka izotopów do środowiska.

3. Efekty izotopowe. Efekty izotopowe zależne od masy i niezależne od masy, przybliżenie Born-Oppenheimera, efekt pola jądrowego (NFS). Efekty izotopowe strukturalne: wpływ podstawienia izotopowego na energetyczne poziomy oscylacyjne (oscylator harmoniczny i anharmoniczny) i rotacyjne, efekty izotopowe w cząsteczkowych. Efekty izotopowe w widmach atomowych, atomy wodoropodobne. Addytywność efektów izotopowych.

Termodynamiczne efekty izotopowe, związek między zredukowaną stałą równowagi i stałą równowagi oraz ich związek z efektami izotopowymi. Wpływ temperatury na efekt izotopowy. Wpływ efektów izotopowych na równowagi fazowe dla układów rzeczywistych, dysocjację, rozpuszczalność, mieszalność cieczy. Normalny i odwrotny efekt izotopowy w równowagach fazowych.

Kinetyczne efekty izotopowe (KIE): podejście klasyczne w świetle teorii zderzeń i kompleksu aktywnego, tunelowanie. Normalny i odwrotny KIE.

Wymiana izotopowa jako proces równowagowy, termodynamika wymiany izotopowej i termodynamiczna siła napędowa wymiany. Wpływ stałej siłowej wiązania na preferencyjne wbudowywanie się izotopów o różnych masach. Przykładowe mechanizmy wymiany izotopowej.

4. Chemia radiacyjna. Radioliza. Sposoby oddawania energii przez promieniowanie jonizujące: jonizacja, wzbudzenia. Przestrzenny rozkład produktów radiolizy w wodzie: gniazda, roje, krótkie tory, odgałęzienia porównanie dla różnych rodzajów promieniowania o różnej wartości LET. Etapy radiolizy wody: fizyczny, fizyczno-chemiczny, chemiczny. Najważniejsze produkty radiolizy wody: wolne rodniki, uwodniony elektron, produkty trwałe – ich reaktywność, właściwości utleniająco-redukujące, przykładowe reakcje. Zmiatacze wolnych rodników. Radioliza roztworów wodnych. Wydajność radiacyjna G.

Chemia radiacyjna polimerów: uszkodzenia radiacyjne, sieciowanie, poprawa właściwości polimerów. Polimeryzacja indukowana promieniowaniem, wady i zalety.

Chemia radiacyjna ciał stałych, uszkodzenia radiacyjne.

Chemiczne efekty rozpadów promieniotwórczych i reakcji jądrowych, efekt Szilarda-Chalmersa, chemia „gorących” atomów. Autoradioliza.

5. Aktynowce. Występowanie w przyrodzie. Struktura elektronowa, efekty relatywistyczne, porównanie z lantanowcami. Kontrakcja aktynowców. Właściwości fizyczne aktynowców jako metali, reaktywność, piroforetyczność. Najważniejsze stopnie utlenienia. Rodzaje wiązań chemicznych, udział różnych orbitali w ich tworzeniu. Aktynowce w roztworach wodnych –

rodzaje jonów, oksokationy. Tworzenie związków koordynacyjnych. Chemia tarczy – strategie wydzielania aktynowców wytworzonych w reakcjach jądrowych z tarczy bombardowanej jądrami-pociskami. Porównanie właściwości chemicznych z lantanowcami. Zastosowania aktynowców.

6. Transaktynowce. Transaktynowce bloku d i p. Chemia pojedynczego atomu. Struktura elektronowa, porównanie z homologami z układu okresowego.

7. Inne niż aktynowce i transaktynowce pierwiastki nie posiadające trwałych izotopów Tc, Pm, : . Występowanie w przyrodzie, procesy ich powstawania, ogólne właściwości chemiczne i fizyczne.

8. Wzbogacanie/rozdzielanie izotopów. Współczynnik wzbogacenia, współczynnik rozdzielania. Najważniejsze metody rozdzielania izotopów (podstawy fizyczne i chemiczne, ogólny schemat działania, wady i zalety): metoda elektromagnetyczna, ultrawirówki, dyfuzja gazowa, termodyfuzja, metoda aerodynamiczna, separacja laserowa (LIS, MLIS, AVLIS),wymiana izotopowa. Układy kaskadowe.

9. Zastosowania izotopów promieniotwórczych w medycynie. Obrazowanie molekularne, podstawy PET, SPECT – wykorzystywane izotopy. Terapia z wykorzystaniem promieniowania jądrowego.

10. Techniki badawcze wykorzystujące promieniowanie jądrowe. Podstawy spektroskopii Mössbauera, przesunięcie chemiczne, rozszczepienia kwadrupolowe i Zeemana, informacje o próbkę uzyskiwane z analizy widm. Analiza aktywacyjna – podstawy metody, przykładowe reakcje. Dobór czasu aktywacji. Analiza opóźniona i natychmiastowa, analiza niedestrukcyjna i destrukcyjna, analiza radiochemiczna. Wykorzystywane źródła aktywujące, analiza z użyciem neutronów termicznych.

11. Zastosowania izotopów promieniotwórczych i trwałych. Zastosowania w przemyśle, życiu codziennym oraz nauce. Datowanie radioizotopowe, metoda radiowęglowa.

12. Energetyka jądrowa. Procesy rozszczepienia jąder atomowych, rozszczepienie samorzutne i wymuszone, reakcja łańcuchowa, neutrony opóźnione. Najważniejsze dla energetyki izotopy rozszczepialne. Klasyfikacja uranu: naturalny, wzbogacony, zubożony. Ogólny schemat budowy reaktora jądrowego. Najważniejsze elementy reaktora: paliwo, chłodziwo, moderator, pręty kontrolne, reflektor – rola i typowe materiały, z których są wykonane. Najważniejsze rodzaje reaktorów: PWR, BWR, AGR, MAGNOX, reaktory na neutrony szybkie, powielające. Związki chemiczne uranu ważne w energetyce jądrowej: UF₆, tlenki uranu. Wypalone paliwo jądrowe. Przetwarzanie wypalonego paliwa jądrowego: metody hydrometalurgiczne - podstawy procesu PUREX, metody wysokotemperaturowe, transmutacja.