

Dwuletnie studia II stopnia na makrokierunku Energetyka i chemia jądrowa, ścieżki kształcenia: *Chemia jądrowa; Fizyka u podstaw energetyki jądrowej*

1. CHARAKTERYSTYKA STUDIÓW

OGÓLNY OPIS MAKROKIERUNKU

Studia II stopnia na makrokierunku „Energetyka i Chemia Jądrowa” składają się z czterech semestrów. Realizacja programu studiów odbywa się zgodnie z regułami systemu punktów kredytowych ECTS. Student musi uzyskać 60 punktów ECTS w danym roku. Realizacja pełnego programu studiów pierwszego stopnia wymaga uzyskania minimum 120 punktów ECTS. Studia odbywają się w ramach dwóch ścieżek kształcenia (odpowiedników specjalizacji): „Chemia jądrowa” (ChJ) oraz „Fizyka u podstaw energetyki jądrowej” (FPEJ). Studenci dokonują wyboru specjalizacji przed drugim semestrem, w ramach której przygotowują się do pracy magisterskiej. Opiekunami prac mogą być wszyscy nauczyciele akademicki Wydziału Chemii lub Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, zajmujący się w swojej pracy naukowej chemią lub fizyką jądrową.

Oczekiwane cele kształcenia

Absolwenci studiów II stopnia zdobędą wiedzę z zakresu fizyki, chemii oraz energetyki jądrowej pozwalającą na rozwiązywanie problemów z zakresu energetyki i chemii jądrowej nawet w niestandardowych sytuacjach. Będą potrafili dyskutować na tematy dotyczące energetyki, fizyki i chemii jądrowej zarówno ze specjalistami jak i niespecjalistami, a także organizować pracę grupową oraz kierować pracą zespołową. Nasi absolwenci będą gotowi do ustawicznego samokształcenia, prowadzenia samodzielnych badań oraz do kontynuacji nauki na studiach doktoranckich. Znajdą oni zatrudnienie w różnych gałęziach rozwijającej się energetyki jądrowej. Potencjalni pracodawcy to firmy zajmujące się produkcją i przerobem paliwa jądrowego, operatorzy elektrowni jądrowej, jak Polska Grupa Energetyczna, instytucje rządowe, jak Ministerstwo Gospodarki, Państwowa Agencja Atomistyki, instytutu naukowe, szkoły wyższe i innego rodzaju instytucje edukacyjne, organizacje społeczne, ekologiczne, media zajmujące się tematyką naukową i społeczną itd. Obecnie popyt na specjalistów w dziedzinie energetyki jądrowej gwałtownie rośnie w kraju, w Europie i na świecie.

2. SYLWETKA ABSOLWENTA

Chemia jądrowa: Absolwent ścieżki *Chemia jądrowa* będzie posiadać interdyscyplinarną wiedzę z zakresu fizyki, chemii i medycyny jądrowej. Wiedza ta będzie obejmować przede wszystkim zagadnienia z obszaru energetyki jądrowej, chemii analitycznej izotopów promieniotwórczych, wykorzystania źródeł promieniotwórczych w nauce, przemyśle i medycynie jak również problemy bezpieczeństwa jądrowego, w tym kwestie bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego oraz sposoby postępowania w sytuacji kryzysowej związanej z wypadkami radiacyjnymi. Absolwent uzyska wiedzę zarówno teoretyczną jak również praktyczną w trakcie pracy w nowoczesnie wyposażonych laboratoriach Wydziałów Chemii i Fizyki UW oraz współpracujących z nimi innych jednostek naukowych. Możliwość wyjazdów na staże i wizyt w wiodących krajowych i międzynarodowych ośrodkach naukowych umożliwi absolwentowi bliższe zapoznanie się z metodyką pracy i mechanizmami działania urządzeń wykorzystywanych w energetyce jądrowej. Absolwent zapozna się z obowiązującymi zasadami prawnymi i przepisami dotyczącymi działalności związanej z wykorzystaniem źródeł promieniowania oraz ich interpretacją. Absolwent odbędzie zajęcia które ułatwią mu poznanie oraz zrozumienie roli energetyki i chemii jądrowej w rozwoju nowoczesnego społeczeństwa.

Absolwent będzie merytorycznie przygotowany do rozwiązywania problemów technicznych i naukowych z wykorzystaniem izotopów promieniotwórczych, zarówno w skali laboratoryjnej jak i przemysłowej, w tym także badań środowiskowych. Uzyskana wiedza pozwoli absolwentowi na podjęcie pracy w instytucjach związanych z wykorzystaniem energetyki jądrowej (ośrodki wykorzystujące reaktory jądrowe i przetwarzające paliwo jądrowe), radioanalityką (oznaczanie izotopów promieniotwórczych, ochrona środowiska, bezpieczeństwo radiacyjne), medycyną jądrową (radioterapia, obrazowanie molekularne), komercyjnym wykorzystaniem izotopów promieniotwórczych (przemysł maszynowy, spożywczy, chemiczny, budowlany, elektrotechniczny, aparatury medycznej i naukowej) i wykorzystaniem źródeł promieniowania do celów badawczych (chemia, fizyka, biologia, medycyna). Dzięki uzyskanej wiedzy z zakresu przepisów prawnych, procedur bezpieczeństwa oraz zagadnień związanych z miejscem energetyki jądrowej w nowoczesnym społeczeństwie absolwent będzie mógł podjąć pracę również w instytucjach niezwiązanych bezpośrednio z wykorzystaniem energetyki jądrowej, np. jako konsultant w organizacjach/instytucjach zajmujących się rozwojem gospodarczo-ekonomicznym kraju czy propagowaniem wiedzy o bezpiecznym wykorzystaniu źródeł promieniowania. Absolwent będzie również przygotowany do dalszej kontynuacji nauki, w tym podjęcia studiów 3 stopnia.

Możliwe miejsca zatrudnienia:

- instytuty badawcze i badawczo rozwojowe;
- firmy produkujące nanomateriały, ma kosmetyki, środki czyszczące i ochronne, firmy farmaceutyczne;
- laboratoria badawczo-rozwojowe oraz laboratoria kontroli jakości wykorzystujące różnorodne metody spektroskopowe

Fizyka u podstaw energetyki jądrowej Absolwent ścieżki *Fizyka u podstaw energetyki jądrowej* będzie posiadał podstawową wiedzę z zakresu fizyki ogólnej oraz specjalistyczną wiedzę z zakresu fizyki jądrowej. Będzie posiadał wiedzę niezbędną do zrozumienia działania urządzeń i instalacji jądrowych stosowanych w energetyce, przemyśle i medycynie. Absolwent będzie dysponował umiejętnością interpretacji i ilościowego opisu zjawisk fizycznych. Zapozna się z aktami prawnymi regulującymi funkcjonowanie urządzeń i instalacji jądrowych. Uzyska wiedzę z zakresu ekonomicznych, ekologicznych i społecznych aspektów funkcjonowania energetyki jądrowej.

Absolwent powinien posiadać:

- umiejętność rozumienia działania urządzeń jądrowych: reaktorów jądrowych, akceleratorów
- praktyczną umiejętność detekcji promieniowania jonizującego,
- umiejętność obsługi urządzeń dozymetrycznych, umiejętność oceny zagrożenia promieniowaniem jonizującym oraz znajomość sposobów ograniczania narażenia
- umiejętność pozyskiwania i opracowywania danych empirycznych, ich wizualizacji i interpretacji,
- umiejętność korzystania z literatury naukowej i technicznej, baz danych jądrowych

Możliwe miejsca zatrudnienia:

- instytuty badawcze i badawczo rozwojowe,
- jednostki ochrony radiologicznej i nadzoru jądrowego,
- służby bezpieczeństwa wewnętrznego oraz służby ochrony granic.

3. PLAN STUDIÓW

Semestr I

Nazwa przedmiotu	kod w USOS	wykład	ćwiczenia	laboratoria	punkty ECTS	Forma zaliczenia
Mechanika kwantowa II z elementami chemii teoretycznej i spektroskopii molekularnej - wykład		60	60		12	Egzamin
Detekcja i analiza substancji promieniotwórczych		45		45	9	Zaliczenie na ocenę
Wybrane aspekty fizyki współczesnej		45	45		9	Egzamin

Łączna liczba godzin: 300

Łączna liczba punktów ECTS: 30

Semestr II

Nazwa przedmiotu	kod w USOS	wykład	ćwiczenia	laboratoria	punkty ECTS	Forma zaliczenia
Zaawansowana pracownia fizyki jądrowej (FPEJ)		15		45	6	Zaliczenie na ocenę
Zaawansowana pracownia z chemii jądrowej (ChJ)		30		90	12	
Fizyka materii skondensowanej z elementami krystalochemii		45	45		9	Egzamin
Przedmioty specjalistyczne do wyboru (lista nr 1) (FPEJ)		120			12	Według listy nr 1
Przedmioty specjalistyczne do wyboru (lista nr 1) (ChJ)		60			6	
Wstęp do energetyki jądrowej		30			3	Egzamin

Łączna liczba godzin: 300

Łączna liczba punktów ECTS: 30

Semestr III

Nazwa przedmiotu	kod w USOS	wykład	ćwiczenia	laboratoria	punkty ECTS	Forma zaliczenia
Wykład monograficzny (*) (lista nr 2)		15			1,5	Według listy nr 2
Wykład monograficzny (*) (lista nr 2)		15			1,5	Według listy nr 2
Seminarium magisterskie I (wspólne)		30 h			2	Zaliczenie na ocenę

Pracownia specjalizacyjna do wyboru				180	18	Zaliczenie na ocenę
Przedmioty specjalistyczne do wyboru (lista nr 1)		60			6	Według listy nr 1
Zajęcia ogólnouniwersyteckie		15			1	Egzamin

(*) lub jeden wykład monograficzny 30h

Łączna liczba godzin: 315

Łączna liczba punktów ECTS: 30

Semestr IV

Nazwa przedmiotu	kod w USOS	wykład	ćwiczenia	laboratoria	punkty ECTS	Forma zaliczenia
Pracownia magisterska wraz z pracą magisterską				210	20	Zaliczenie na ocenę
Wykład monograficzny (*) (lista nr 2)		15			1,5	Egzamin
Wykład monograficzny (*) (lista nr 2)		15			1,5	Egzamin
Seminarium magisterskie II (wspólne)		30 h			4	Zaliczenie na ocenę
Zajęcia ogólnouniwersyteckie		45			3	Egzamin

(*) lub jeden wykład monograficzny 30h

Łączna liczba godzin: 315

Łączna liczba punktów ECTS: 30

Lista 1 (Wykłady specjalistyczne do wyboru). Przedmioty do wyboru na II i III semestrze (lista będzie uaktualniana raz na rok). W nawiasach podano sugerowane specjalizacje.

Nazwa przedmiotu	wykład	ćwiczenia	laboratoria	punkty ECTS	Forma zaliczenia
Analiza aktywacyjna	15			1,5	Egzamin
Chemia radiacyjna	30			3	Egzamin
Fizyka jądrowa	30	30		6	Egzamin
Modelowanie procesów fizycznych w reaktorach jądrowych			30	3	Zaliczenie na ocenę
Neutronika i fizyka reaktorów	30	30		6	Egzamin
Paliwo jądrowe i odpady promieniotwórcze	30			3	Egzamin

Prawo atomowe	15			1,5	Egzamin
Radiofarmaceutyki	30			3	Egzamin
Rozdzielanie i wzbogacanie izotopów trwałych	30			3	Egzamin
Wpływ promieniowania na właściwości materii	15			1,5	Egzamin
Wstęp do termohydrauliki reaktorów	30	30			Egzamin
Zastosowanie izotopów w chemii, technologii chemicznej, w przemyśle	30			3	Egzamin

Lista 2 (Wykłady monograficzne do wyboru). Wykłady monograficzne. Lista wykładów monograficznych na dany rok akademicki będzie ogłaszana każdego roku przed otwarciem zapisów w systemie USOS. Poniższa lista zawiera przykładowe tematy wykładów monograficznych.

Nazwa przedmiotu	wykład	ćwiczenia	konwersatorium	punkty ECTS	forma zaliczenia
Awarie i katastrofy jądrowe	15			1,5	Zaliczenie na ocenę
Elementy radiobiologii	15			1,5	Zaliczenie na ocenę
Energia i sposoby magazynowania energii	30			3	Zaliczenie na ocenę
Reakcje wymiany izotopowej	15			1,5	Zaliczenie na ocenę
Radiochemia środowiska	15			1,5	Zaliczenie na ocenę
Systemy reaktorów jądrowych	15			1,5	Zaliczenie na ocenę
Techniki jądrowe w diagnostyce i terapii medycznej	30			3	Zaliczenie na ocenę
Techniki obrazowania molekularnego w badaniach przedklinicznych	15			1,5	Zaliczenie na ocenę

SYLABUSY

A. Przedmioty podstawowe

Detekcja i analiza substancji promieniotwórczych (W45h+L45h)

Treści kształcenia: zasady przeprowadzenia pomiarów (dokładności i niepewność pomiaru), statystyka promieniowania jądrowego, kalibrowanie przyrządów pomiarowych, detekcja promieniowania alfa, beta, gamma, wyznaczanie okresów połowicznych zaników w mieszaninie izotopów promieniotwórczych, określanie składu stopów na podstawie analizy aktywacyjnej, wpływ promieniowania na szybkość korozji stopów, oznaczanie radonu w powietrzu, oznaczanie trytu w wodzie.

Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje: treść wykładu oraz towarzyszących ćwiczeń laboratoryjnych mają na celu nauczenie umiejętności wyboru procedury pomiarowej do celu badań; studenci nabędą umiejętność przeprowadzania prostych pomiarów z wykorzystaniem izotopów promieniotwórczych, umiejętność analizy uzyskanych danych, umiejętność doboru warunków pracy z izotopami promieniotwórczymi: dobór rodzaju izotopu i jego aktywności; zapoznają się także z różnego typu metodami detekcji promieniowania oraz zasadami bezpiecznej pracy z promieniowaniem jonizującym.

Zaawansowana pracownia fizyki jądrowej (W15h+L45h)

Treści kształcenia: Wyznaczanie przekroju czynnego na rozszczepienie ^{235}U neutronami termicznymi, badanie widma energii elektronów emitowanych w rozpadzie beta ^{137}Cs , pomiar czasu życia stanów jądrowych metodą koincydencji opóźnionych, badanie schematów rozpadu wybranych izotopów, analogowe i cyfrowe układy elektroniczne w pomiarach jądrowych, badanie efektu Comptona poprzez pomiar koincydencji elektron-gamma, wyznaczanie przekroju czynnego na rozpraszania Rutherforda, badanie widma naturalnego tła promieniowania gamma, spektrometria neutronów, identyfikacja cząstek naładowanych w detektorach $\square\text{E-E}$.

Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje: umiejętność projektowania i wykonania zaawansowanych pomiarów z fizyki jądrowej różnymi technikami eksperymentalnymi, umiejętność analizy i interpretacji danych doświadczalnych.

Zaawansowana pracownia z chemii jądrowej (W30h+L90h)

Treści kształcenia: Oznaczanie ^{131}I w mleku, oznaczanie uranu w moczu, popiele, nawozach sztucznych, oznaczanie polonu w papierosach, oznaczanie stopnia kumulacji ^{99}Tc w roślinach, równoległe oznaczanie izotopów α/β promieniotwórczych, badanie elektrochemiczne adsorpcji substancji organicznych i nieorganicznych na elektrodach stałych z wykorzystaniem znakowania radioizotopami, badanie odporności na korozję typowych materiałów stosowanych w reaktorach jądrowych (stopy Zr) z wykorzystaniem metod elektrochemicznych oraz skaningowych mikroskopów elektronowych i mikroskopu elektrochemicznego, badanie adsorpcji radonu na różnych substancjach stałych jako potencjalnych elementach detektorów radonu, wykorzystanie spektrometrii Mössbauera do badania substancji nieorganicznych i organicznych czynnych biologicznie zawierających żelazo na różnych stopniach utlenienia, synteza i analiza związków o potencjalnym zastosowaniu w diagnostyce PET i SPECT, projektowanie procedury eksperymentu oraz udział w badaniu PET/CT lub SPECT/CT na małych zwierzętach, wpływ podstawienia izotopowego na wybrane fizykochemiczne właściwości cieczy i ich roztworów (gęstość, współczynnik załamania światła, szybkość rozchodzenia się ultradźwięków, lepkość, napięcie powierzchniowe, przewodnictwo elektrolityczne), wpływ

podstawienia izotopowego na równowagi fazowe ciec – para oraz ciec-ciec, chemiczne metody rozdzielania izotopów, właściwości chemiczne transuranowców.

Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje: umiejętność projektowania i przeprowadzania zaawansowanych pomiarów z wykorzystaniem izotopów promieniotwórczych, umiejętność analizy uzyskanych danych, umiejętność doboru warunków pracy z izotopami promieniotwórczymi: dobór rodzaju izotopu i jego aktywności, zasady organizacji pracy z wykorzystaniem izotopów o dużych aktywnościach (praca z wykorzystaniem komór gorących).

Mechanika kwantowa II z elementami chemii teoretycznej i spektroskopii molekularnej – wykład i ćwiczenia (W60h + Ć60h)

Treści kształcenia: Układy wielu ciał: spin a symetria permutacyjna funkcji falowej dla układów wielu fermionów i wielu bozonów.

Przybliżenie Borna-Oppenheimera: rozdzielanie ruchu jąder i elektronów, elektronowe równanie Schrödingera, równanie Schrödingera dla ruchu jąder.

Przybliżenie jednoelektronowe: wyznacznik Slatera, równania Hartree-Focka i Hartree-Focka-Roothaana, metoda pola samouzgodnionego.

Rachunek zaburzeń: przestrzeń modelowa i przestrzeń rozwiązań dokładnych, operatory rzutowe, operator falowy, równanie Blocha, rachunek zaburzeń Rayleigha-Schrödingera i Brillouina-Wignera.

Korelacja elektronowa: przestrzeń Focka, operatory kreacji i anihilacji, operatory podstawień spinorbitalnych, reguły (anty)komutacji. Reprezentacja operatorów jedno i dwucząstkowych w drugiej kwantyzacji. Energia korelacji i jej ekstensywność. Metoda sprzężonych klastrów, wielociałowy rachunek zaburzeń, metoda oddziaływania konfiguracji i wiązań walencyjnych, ekstensywność energii w tych metodach.

Teoria funkcjonału gęstości: twierdzenia Hohenberga-Kohna o istnieniu funkcjonału i zasadzie wariacyjnej. Podejście Kohna-Shama, definicja orbitali i układu nieoddziałującego, równania Kohna-Shama, potencjał korelacyjno-wymienny. Przybliżone potencjały korelacyjno-wymienne: podejście lokalne, rozwinięcie gradientowe.

Oddziaływania międzycząsteczkowe: polaryzacyjny rachunek zaburzeń, interpretacja fizyczna składowych energii oddziaływania. Problem odpychania walencyjnego, adaptacja symetrii w rachunkach zaburzeń dla oddziaływań, energia wymienna i jej interpretacja fizyczna. Rozwinięcie asymptotyczne energii oddziaływania.

Rachunek zaburzeń zależny od czasu: równania perturbacyjne, rozwiązanie 1. rzędu, stan układu dla chwili czasu t , prawdopodobieństwo przejścia, sprzężenie ze stanami kontinuum, gęstość stanów, złota reguła Fermiego.

Podstawy spektroskopii optycznych: Widma absorpcyjne i emisyjne. Kwantowy opis rotacji i drgań cząsteczek. Warunki Eckarta, Hamiltonian Watsona, przybliżone rozdzielanie translacji, oscylacji i rotacji. Reguły wyboru dla przejść dipolowych elektrycznych. Spektroskopia rotacyjna, oscylacyjna i elektronowa, drgania normalne, przybliżone reguły wyboru. Efekt Ramana, spektroskopia ramanowska. Techniki pomiaru oraz rejestracji widm, podstawowe charakterystyki widmowe. Kwantowo-mechaniczna interpretacja widm.

Kwantowa teoria rozpraszania: macierz rozpraszania, przekrój czynny. Rozpraszanie w polu sił centralnych, przesunięcie fazowe, przybliżenie Borna.

Relatywistyczna mechanika kwantowa: równanie Diraca, przekształcenie Foldy-Wouthausena, relatywistyczny atom wodoru. Teoria Pauliego, przybliżone Hamiltoniany relatywistyczne dla układów wielu elektronów.

Podstawy spektroskopii rezonansowych: Hamiltonian spinowy. Atomy, cząsteczki i momenty magnetyczne jąder w zewnętrznym polu magnetycznym. Jądrowy rezonans magnetyczny. Elektronowy rezonans paramagnetyczny. Techniki pomiaru oraz rejestracji widm, podstawowe charakterystyki widmowe. Kwantowo-mechaniczna interpretacja widm.

Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje: zapoznanie studentów z interpretacją zjawisk na gruncie mechaniki kwantowej, z wykorzystywaniem formalizmu mechaniki kwantowej do opisu

zjawisk fizycznych i chemicznych ze szczególnym uwzględnieniem struktury elektronowej oraz dynamiki cząsteczek oraz z zastosowaniem metod spektroskopii molekularnej w chemii.

B. Przedmioty kierunkowe dla wszystkich specjalizacji

Wybrane aspekty fizyki współczesnej (W45h + Ć45h)

Treści kształcenia:

Blok I: Elementy współczesnej fizyki klasycznej

Czasoprzestrzeń Galileusza i Minkowskiego szczególnej teorii względności. Kinematyka i dynamika punktów materialnych i brył sztywnych. Więzy, zasada d'Alemberta, równania Lagrange'a. Zasady wariacyjne i prawa zachowania. Twierdzenie Noether. Przestrzeń fazowa, równania Hamiltona. Niezmienniki przekształceń kanonicznych, całki ruchu. Stabilność trajektorii fazowych. Elementy teorii chaosu. Elementy dynamiki relatywistycznej. Elementy mechaniki sprężystych ośrodków rozciągliwych.

Blok II: Elementy współczesnej fizyki statystycznej

Elementy klasycznej mechaniki statystycznej. Elementy kwantowej mechaniki statystycznej. Zastosowania klasycznej i kwantowej mechaniki statystycznej w termodynamice i fizyce fazy skondensowanej. Statystyki Fermiego i Bosego. Termodynamika statystyczna w opisie zachowania układów gazowych i krystalicznych. Termodynamika i kinetyka reakcji chemicznych. Mechanika i dynamika molekularna w zastosowaniu do opisu makrocząsteczek i nanostruktur.

Efekty kształcenia - umiejętności i kompetencje: Wykład jest adresowany głównie do studentów chcących specjalizować się w fizyce eksperymentalnej. Celem wykładu jest: wykształcenie intuicji fizycznej związanej z rozumieniem zjawisk i procesów makro i mikroświata; zaznajomienie studentów z podstawowymi metodami matematycznymi stosowanymi we współczesnej fizyce teoretycznej, oraz nauczenie wykorzystywania formalizmów matematycznych fizyki klasycznej, kwantowej i statystycznej do opisu zjawisk i procesów w makro i mikroświecie.

Fizyka materii skondensowanej z elementami krystalochemii (W45h+Ć45h)

Treść kształcenia: Stany skupienia i metoda ich definiowania przez funkcje korelacji przestrzennej. Elementy krystalografii; Metody rentgenowskie w zastosowaniu do nanotechnologii w szczególności rozpraszanie niskokątowe w zastosowaniu do badań wielkości i topologii nano-objektów, wpływ wielkości kryształitów na kształt sygnałów w dyfrakcji rentgenowskiej, metody badania odkształceń elastycznych kryształów, zastosowanie metody reflektometri rentgenowskiej do badania cienkich warstw; Drgania termiczne sieci, przewodnictwo cieplne; Przemiany fazowe cieplne i strukturalne, uniwersalizm przemian fazowych, teoria renormalizacji w zastosowaniu do przemian fazowych, wpływ wymiarowości na przemiany fazowe; Dielektryki i metoda spektroskopii dielektrycznej, Metale i półprzewodniki, wpływ wymiarowości i wielkości obiektu na strukturę elektronową materiału; Optyka dielektryków i metali, optyka nano-objektów; Optyka meta-materiałów; Nadprzewodnictwo; Nadciekłość; Fizyka powierzchni,

Efekt kształcenia – umiejętności i kompetencje: zapoznanie studentów ze strukturą fazy skondensowanej oraz wpływem wymiarowości i wielkości materii na właściwości fizyczne; Zapoznanie studentów z wybranymi metodami badania fazy skondensowanej

Wstęp do energetyki jądrowej (W30h)

Treści kształcenia: Historia rozwoju reaktorów jądrowych. Zasada działania reaktora. Rodzaje paliwa jądrowego, chłodziwa, moderatora, absorbera i reflektora. Klasyfikacja reaktorów. Reaktory na neutronach termicznych i prędkich. Reaktory wodne, wysokotemperaturowe, powielające oraz podkrytyczne systemy sterowane akceleratorem. Zastosowania reaktorów. Podstawowe wiadomości o systemach reaktorowych i sterowaniu reaktorem. Awaryjne i bezpieczeństwo. Likwidacja elektrowni.

Podstawowe wiadomości o cyklu paliwowym. Światowe zasoby paliwa jądrowego. Transmutacja. Ekonomiczne i ekologiczne aspekty energetyki jądrowej.

Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje: Student jest zorientowany w całokształcie zagadnień dotyczących energetyki jądrowej. Posiada wstępne wiadomości z fizyki reaktorowej oraz z chemii cyklu paliwowego.

Pracownia specjalistyczna (L180h)

Treści kształcenia: W ramach Pracowni specjalistycznej student wykonuje zadanie badawcze o charakterze eksperymentalnym, zwykle stanowiące wstęp do pracy dyplomowej. Celem pracowni jest opanowanie metod pomiarowych, planowanych do wykorzystania w pracy magisterskiej i przeprowadzenie wstępnych pomiarów umożliwiających właściwe zaplanowanie ostatecznej tematyki przyszłej pracy dyplomowej.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje:

Zapoznanie się z zaawansowanymi metodami badawczymi wykorzystywanymi w fizyce i chemii jądrowej. Umiejętność zaplanowania i przeprowadzenia eksperymentu oraz analizy uzyskanych wyników.

B. Wykłady specjalistyczne i monograficzne do wyboru

Analiza aktywacyjna (W15h)

Treści kształcenia: Badanie składu za pomocą pomiaru promieniowania gamma. Aktywowanie próbek neutronami (NAA), promieniowaniem gamma (FAA), cząstkami naładowanymi (PIGE). Podział neutronów ze względu na energię, źródła neutronów. Przekrój czynny na reakcję z neutronami, wpływ energii neutronów, pierwiastki analizowane w NAA, czas aktywowania, studzenie, efekt matrycy. Analiza natychmiastowego promieniowania (PNAA) i opóźnionego (DNAA), analiza izotopów krótkożyciowych. Analiza specjacyjna i pochodnych. Analiza niedestrukcyjna (instrumentalna), destrukcyjna (radiochemiczna), metody rozdzielania przed i po naświetlaniu. Analiza jakościowa, detekcja i identyfikacja sygnałów, metoda drugiej pochodnej. Analiza ilościowa, metoda bezwzględna, metoda porównawcza, metoda pojedynczego wzorca, symulacja, korekcja wydajności, wyznaczenie pola sygnału i błędu analizy. Sprzęt wykorzystywany w analizie aktywacyjnej, półprzewodnikowe detektory promieniowania. Czułość, selektywność i ograniczenia analizy aktywacyjnej, porównanie z innymi metodami. Przykładowe zastosowania: ochrona środowiska, archeologia, analiza dzieł sztuki, kryminalistyka, geologia.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje: Student zapoznaje się podstawami analizy aktywacyjnej: sposobem przygotowania i aktywowania próbek, metodami przeprowadzania analizy oraz interpretacji wyników. Student poznaje sposób działania typowej aparatury stosowanej w tej technice, poznaje jej zalety oraz ograniczenia.

Chemia radiacyjna (W30h)

Treści kształcenia: Historia chemii radiacyjnej, waga chemii radiacyjnej w nauce i technice. Rodzaje promieniowania: cząstki oraz promieniowanie elektromagnetyczne. Źródła promieniowania jonizującego. Dozymetria. Oddziaływanie promieniowania jonizującego z materią; oddziaływanie z materią: elektronów, neutronów, ciężkich jonów oraz promieniowania elektromagnetycznego (promieniowanie gamma oraz rentgenowskie). Mechanizm przekazywania energii do ośrodka materialnego. Jony, cząsteczki wzbudzone, oraz wolne rodniki w chemii radiacyjnej. Metody pomiarowe w badaniach cząsteczek wzbudzonych, wolnych rodników oraz jonów; szybkie pomiarowe metody optyczne, elektronowy rezonans paramagnetyczny, spektrometria mas itp. Przestrzenne rozłożenie śladów; rozprzestrzenianie się produktów radiolizy w ośrodku.

Radioliza gazów oraz cieczy; efekty radiacyjne w ciałach stałych. Radioliza wody. Uwodniony elektron. Radioliza związków organicznych; wpływ promieniowania jonizującego na polimery. Chemia radiacyjna związków biologicznie ważnych; radioliza białek, wpływ promieniowania na kwasy nukleinowe, enzymy, witaminy itp. Zastosowanie chemii radiacyjnej w procesach przemysłowych: w syntezie chemicznej, sterylizacja radiacyjna w medycynie, oczyszczanie wody, napromieniowanie żywności itp.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje: po wysłuchaniu wykładów studenci będą rozumieli mechanizm oddziaływania promieniowania jonizującego z materią oraz towarzyszące im przemiany chemiczne. Szczególnie istotne będzie zrozumienie konsekwencji chemicznych radiolizy związków biologicznych.

Fizyka jądrowa (W30h+C30h)

Treści kształcenia: Przypomnienie podstawowych własności jąder atomowych. Model kropłowy i ogólne cechy jąder na mapy nuklidów. Metody wytwarzania nuklidów dalekich od stabilności. Wiązki radioaktywne. Masy nuklidów i główne metody ich pomiaru. Modele masowe. Przegląd przemian promieniotwórczych, warunki energetyczne i reguły wyboru. Opis teoretyczny przemian beta. Opóźniona emisja cząstek naładowanych i neutronów. Promieniotwórczość protonowa i alfa. Model WKB. Model powłokowy cząstek niezależnych. Momenty elektromagnetyczne stanów jądrowych i metody ich pomiaru. Migracje liczb magicznych. Konfiguracje dwucząstkowe. Oddziaływania resztkowe. Siły *pairing* i model BCS. Deformacje jąder i model Nilssona. Metoda poprawki powłokowej Strutinskiego. Jądra ciężkie i superciężkie. Rozszczepienie. Rotacje jąder zdeformowanych. Opis elektromagnetycznych przejść gamma. Zjawisko konwersji wewnętrznej. Sprzężenie ruchu jednocząstkowego z rotacją. Zjawisko *backbandingu*. Nowoczesne wielolicznikowe układy detekcji gamma. Fizyka jądrowa w modelowaniu astrofizycznych procesów nukleosyntezy.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje: Rozumienie własności stanów jądrowych. Znajomość podstawowych modeli jądrowych. Wiedza o wszystkich typach promieniotwórczości i metodach ich opisu teoretycznego. Rozumienie wkładu fizyki jądrowej do astrofizyki. Znajomość nowoczesnych metod eksperymentalnych i perspektyw badawczych w najbliższych latach. Rozoznanie we bieżących kierunkach badań fizyki jądra atomowego i w aktualnych problemach w stopniu zaawansowanym.

Modelowanie procesów fizycznych w reaktorach jądrowych (W30h)

Treści kształcenia: Bazy danych jądrowych. Program NJOY. Symulacje kinetyki reaktora oraz zatrucie ksenonem i samarem. Obliczenia deterministyczne oraz metody Monte-Carlo w neutronice. Program Apollo oraz programy MCNP i Tripoli. Modelowanie rozkładu strumienia neutronów. Warunki krytyczności. Produkty reakcji łańcuchowej. Termohydraulika reaktora. Program Flica. Wymiana ciepła między paliwem a chłodziwem. Symulatory reaktorów jądrowych. Mody pracy i sterowania. Stany przejściowe.

Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje: Student umie korzystać z międzynarodowych baz danych jądrowych, potrafi samodzielnie modelować zachodzące w reaktorze procesy kinetyczne, neutroniczne i termohydrauliczne przy użyciu licencjonowanych programów oraz potrafi zasymulować podstawowe stany przejściowe reaktora przy pomocy symulatorów.

Neutronika i Fizyka reaktorów (W30h+C30h)

Treści kształcenia: Podstawowe własności neutronu. Źródła i detektory neutronów. Zastosowania neutronów w nauce i technologii. Oddziaływanie neutronów z materią. Reakcje jądrowe wywoływane neutronami. Przekroje czynne. Transport neutronów. Równanie Boltzmanna i równanie dyfuzji. Metody Monte-Carlo. Przybliżenia jednogrupowe i wielogrupowe. Spowalnianie neutronów. Pochłanianie rezonansowe. Rozkład strumienia oraz widmo energetyczne neutronów w rdzeniu

reaktora. Współczynnik mnożenia, reaktywność i krytyczność. Formuły czterech czynników i sześciu czynników. Neutrony natychmiastowe i opóźnione, prekursorzy. Kinetyka reaktora punktowego. Temperaturowe, ciśnieniowe i próżniowe sprzężenia zwrotne. Ksenon i samar. Oscylacje ksenonowe. Trucizny rozpuszczalne i wypalane. Pręty kontrolne. Stany przejściowe i nieustalone reaktora. Wydzielanie ciepła w paliwie i wypalanie paliwa. Moc reaktora. Reaktory na neutrony termiczne i prędkie. Produkty rozszczepienia i aktywacji neutronami. Transmutacja. Wymiana ciepła między paliwem a chłodziwem. Cykle termodynamiczne pracy układów reaktorowych. Sprzężenie reaktora z turbiną.

Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje: Student zna zagadnienia fizyczne związane z funkcjonowaniem reaktora jądrowego. Orientuje się w zasadach sterowania reaktorem. Umie rozwiązywać podstawowe problemy z kinetyki reaktora, neutroniki i termohydrauliki reaktora.

Paliwo jądrowe i odpady promieniotwórcze (W30h)

Treści kształcenia: Stan obecny energetyki jądrowej na świecie. Współczesne reaktory jądrowe – wymogi paliwowe. Cykl paliwowy: Uran i jego izotopy, właściwości uranu. Zasoby uranu na świecie. Pozyskiwanie uranu z rud uranowych i surowców drugorzędnych. Podstawowe procesy rozdzielcze stosowane przy produkcji koncentratu U_3O_8 . Wytwarzanie paliwa jądrowego. Konwersja, wzbogacanie uranu w ^{235}U . Elementy kaskady rozdzielczej, technologie wzbogacania uranu. Typy paliw: paliwo dla reaktorów wodnych. Produkcja paliwa nuklearnego, elementy paliwowe. Modelowanie zachowania się paliwa w reaktorze, defekty, oddziaływanie koszulek z pastylkami paliwa. Mechanika wiązek paliwowych podczas eksploatacji reaktora i w sytuacjach awaryjnych. Obsługa paliwa w rdzeniu reaktora. Wypalenie paliwa jądrowego, postępowanie z wypalonym paliwem. Przechowalniki mokre i suche. Przerób wypalonego paliwa, procesy hydrometalurgiczne PUREX i COEX. Procesy pyrochemiczne. Nowe tendencje w przeróbce paliwa – scenariusze cyklu paliwowego. Cykl paliwowy otwarty i zamknięty; recykling paliwa, separacja aktywności mniejszościowych. Procesy TRUEX, DIAMEX, SANEX i GANEX. Paliwo MOX. Paliwo torowe. Paliwa dla reaktorów IV generacji. Zagadnienia bezpieczeństwa związane z transportem i przeróbką wypalonego paliwa.

Typy i właściwości odpadów radioaktywnych, definicje i klasyfikacja MEA. Źródła powstawania odpadów: cykl paliwowy, zastosowania radionuklidów, odpady z likwidacji obiektów jądrowych. Odpady promieniotwórcze w elektrowniach jądrowych: odpady stałe, ciekłe i gazowe. Wysokoaktywne odpady promieniotwórcze, metody postępowania, transmutacja odpadów. Konwersja aktywności. Nisko i średnioaktywne odpady promieniotwórcze, metody przeróbki. Odpady zawierające tryt i ^{14}C . Radionuklidy w układzie chłodzenia reaktora. Przerób odpadów promieniotwórczych: obróbka wstępna, metody przeróbki, kondycjonowanie. Odpady powstające z likwidacji elektrowni jądrowych: doświadczenia wynikające z likwidacji elektrowni jądrowych. Transport odpadów radioaktywnych do miejsca składowania. Składowiska płytkie i głębokie. Aspekty instytucjonalne związane z gospodarką odpadami promieniotwórczymi, regulacje prawne. Kwestie społeczno-etyczne. Zaufanie społeczne i akceptacja. Sposoby komunikacji społecznej i budowy zaufania. Organizacje międzynarodowej współpracy w dziedzinie odpadów promieniotwórczych. Inicjatywy międzynarodowe zwiększające bezpieczeństwo postępowania z odpadami radioaktywnymi i wypalonym paliwem jądrowym. Strategia postępowania z odpadami radioaktywnymi i wypalonym paliwem w Polsce.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje: Po wysłuchaniu cyklu wykładów student powinien posiadać wiedzę na temat paliw stosowanych we współczesnych reaktorach jądrowych, ich produkcji i przetwarzania po wypaleniu. Powinien mieć wiedzę na temat odpadów promieniotwórczych powstających w elektrowni jądrowej i w jej otoczeniu, a także na temat metod ich przeróbki i bezpiecznego składowania.

Prawo atomowe (W15h)

Treści kształcenia: Prawo atomowe i akty wykonawcze, podstawowe przepisy międzynarodowe dotyczące bezpieczeństwa jądowego i ochrony radiologicznej, w tym przepisy UE. Zezwolenia na działalność w warunkach narażenia, zgłaszanie takiej działalności, wyłączenia uprawnienia inspektorów dozoru jądowego. Przygotowanie dokumentów w jednostce organizacyjnej: regulamin pracy, instrukcje pracy, rejestry dawek, rejestry źródeł, plan postępowania awaryjnego.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje: Po wysłuchaniu wykładu student zna obowiązujące prawo atomowe, potrafi przygotować podstawowe dokumenty jak np. regulamin pracy, instrukcje, zna plan postępowania awaryjnego.

Radiofarmaceutyki (W30h)

Treści kształcenia: Na wykładzie będą omawiane następujące zagadnienia:

Metody syntezy związków znakowanych: prosta synteza chemiczna, synteza na drodze wymiany izotopowej, synteza metodą atomów odrzutu, biosynteza, metody enzymatyczne i multienzymatyczne. Cechy charakteryzujące radiofarmaceutyki stosowane w diagnostyce medycznej. Podział radioizotopów stosowanych w medycynie. Scyntygrafia. Radiofarmaceutyki technetowe. Zastosowanie radionuklidów ^{67}Ga , ^{111}In i ^{201}Tl w diagnostyce medycznej. Emisyjna tomografia pozytonowa (PET). Zastosowanie. Krótkożyciowe emitery β^+ . Metody otrzymywania. Zastosowanie techniki PET. Ogólne metody syntezy ^{11}C znakowanych związków biologicznie czynnych. Syntezy znakowanych: aminokwasów alifatycznych i aromatycznych (tyrozyny, tryptofanu alaniny, metioniny, kwasów tłuszczowych, amin biogennych, aldoz.

Prekursory do fluoryzacji związków organicznych. Czynniki fluoryzujące. Syntezy związków znakowanych ^{18}F . Synteza znakowanych ^{18}F aromatycznych aldehydów i bromków benzylu. Syntezy: ^{18}F acetonu i ^{18}F karazololu, NCA 4- ^{18}F -fluorogwajakolu i 4- ^{18}F katecholu, ^{18}F -deзокsy-aldoheksos, kwasu 6-deзокsy-6- ^{18}F fluoro-L-askorbinowego (^{18}F -DFA). Automatyczna synteza 5- ^{18}F fluoro-2'-deзокsyurydyny (^{18}F dUrd). Synteza ^{18}F PFBG i ^{18}F MFBG. Synteza znakowanej ^{18}F melatoniny, 5-hydroksytryptofanu i ^{18}F -6-fluoro-L-DOPA.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje: Po ukończeniu przedmiotu student zna metody syntezy związków biologicznie czynnych znakowanych izotopami promieniotwórczymi stosowane w medycynie nuklearnej. Zna radioizotopowe metody stosowane w diagnostyce medycznej.

Rozdzielanie i wzbogacanie izotopów trwałych (W30h)

Treści kształcenia: Zjawisko izotopii. Występowanie i rozpowszechnienie zjawiska izotopii. Wahania składu izotopowego. Podstawy teoretyczne rozdziału izotopów. Efekty izotopowe w spektroskopii. Termodynamiczne efekty izotopowe. Kinetyczne efekty izotopowe. Metody analizy izotopowej izotopów stabilnych. Rozdzielanie izotopów metodami fizycznymi: metoda elektromagnetyczna, metody destylacji, metoda dyfuzji i termodyfuzji, metoda ultrawirówkowa. Metody chemiczne rozdzielania izotopów: wymiana izotopowa, metody elektrochemiczne, metody fotochemiczne. Technologiczne aspekty procesów rozdzielania izotopów. Przykłady metod wzbogacania deuteru i uranu. Perspektywy zastosowań stabilnych izotopów w praktyce.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje: Po wysłuchaniu wykładu w ramach tego przedmiotu student powinien posiadać wiedzę z zakresu podstaw efektów izotopowych stanowiących podstawę metod rozdzielania izotopów. Potrafi sklasyfikować metody fizyczne i chemiczne stosowane w procesach wzbogacania i rozdziału izotopów oraz potrafi uzasadnić wybór odpowiedniej metody rozdzielczej.

Wpływ promieniowania na właściwości materii (W15h)

Treści kształcenia: Rodzaje defektów w ciałach stałych i ich wpływ na właściwości fizyczne. Wpływ promieniowania na właściwości fizyczne ciał stałych: wzbudzenia, aktywowanie i reakcje jądrowe, tworzenie defektów, uszkodzenia jonizacyjne i niejonizacyjne (strukturalne). Mechanizm powstawania defektów radiacyjnych, związek z energią i rodzajem promieniowania, przekazywanie energii promieniowania jądrom atomowym i elektronom, reakcje chemiczne wywołane promieniowaniem, kaskadowe tworzenie defektów. Wpływ promieniowania na przewodnictwo elektryczne, właściwości termiczne, optyczne i mechaniczne, amorfizacja. Odwracalność i nieodwracalność zmian wywołanych promieniowaniem, relaksacja. Defekty radiacyjne w półprzewodnikach, wpływ na właściwości półprzewodnika. Radiacyjna modyfikacja materiałów: implantacja jonów, technika półprzewodnikowa, utwardzanie, zastosowanie modyfikowanych materiałów. Otrzymywanie materiałów odpornych na uszkodzenia radiacyjne, zastosowanie. Wpływ promieniowania jonizującego na polimery: degradacja, sieciowanie, zmiany właściwości mechanicznych i optycznych. Metody badania wpływu promieniowania na właściwości polimerów. Wykorzystanie promieniowania do modyfikowania właściwości polimerów: szczepienie, utwardzanie, polimeryzacja, nanomateriały zawierające polimery. Zastosowanie modyfikowanych polimerów, filtry jądrowe.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje: Student zapoznaje się z mechanizmami wpływu promieniowania na właściwości fizyczne materii, sposobami wykorzystania promieniowania do modyfikowania materiałów w celu osiągnięcia ich pożądanych właściwości oraz możliwościami wytwarzania materiałów odpornych na uszkodzenia radiacyjne.

Wstęp do termohydrauliki reaktorów (W30h+C30h)

Treści kształcenia: Przypomnienie wiadomości z termodynamiki równowagowej. Potencjały termodynamiczne, równanie stanu, podstawowe cykle termodynamiczne. Układy wielofazowe. Pojęcia przemiany fazowej, punktu potrójnego, punktu krytycznego i pary nasyconej. Diagramy fazowe gazów, wody i ciekłych metali. Elementy termodynamiki nierównowagowej. Bilans masy, pędu i energii. Równania transportu. Hydrodynamika. Ciecz lepka i nielepka. Równania Eulera i Naviera-Stokesa. Podstawowe zagadnienia przepływu płynów. Przepływ laminarny i turbulentny. Przepływy jednofazowe i dwufazowe. Niestabilności przepływów. Przewodnictwo cieplne. Prawo Fouriera. Własności cieplne różnych materiałów. Konwekcja swobodna i wymuszona. Wymienniki ciepła. Ciepło parowania i skraplania. Wrzenie podczas przepływu. Przekaz ciepła w systemach reaktorowych. Systemy BWR, PWR i inne. Zasada działania wytwornicy pary, turbiny, skraplacza i chłodni kominowej.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje: Student posiada gruntowną wiedzę z termodynamiki i hydrodynamiki. Zna podstawowe zagadnienia cieplno-przepływowe związane z działaniem systemów reaktorowych. Umie rozwiązywać problemy dotyczące przekazu ciepła i różnych rodzajów przepływu.

Zastosowanie izotopów w chemii, technologii chemicznej, w przemyśle (W30h)

Treści kształcenia: Zalety i ograniczenia metod znaczników radioizotopowych oraz ich podstawowe założenia. Zastosowania radionuklidów w chemii analitycznej: miareczkowanie radiometryczne, metody rozcieńczenia izotopowego: techniki pomiarowe, rodzaje radionuklidów. Radionuklidy w badaniach mechanizmów reakcji. Izotopowe metody w kinetyce chemicznej: badanie procesów dyfuzji oraz szybkości reakcji. Zastosowania radionuklidów do badania procesów równowagowych, w tym równowag fazowych, rozpuszczalności i adsorpcji. Metody radioizotopowe w elektrochemii: dobór znaczników, technika pomiarowa, przykładowe zastosowania: wyznaczanie stopnia pokrycia powierzchni adsorbentem badanie wymiany jonów między roztworem a elektrodą. Elementy

radiogechemii – zegary geologiczne. Przemysłowe zastosowania metod radioizotopowych: defektoskopia, badanie korozji, monitorowanie procesów homogenizacji.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje: Poznanie metod radioizotopowych stosowanych w różnych dziedzinach chemii i technologii chemicznej. Student potrafi ocenić przydatność technik oraz znaczników izotopowych dla określonych celów badawczych i użytkowych.

C. Przedmioty monograficzne

Awarie i katastrofy jądrowe (W15h)

Treści kształcenia: Wpływ elektrowni jądrowej na otoczenie: zagrożenia podczas normalnej pracy reaktora jądrowego, zabezpieczenia elektrowni jądrowych przed awariami, skutki radiacyjne związane z wykorzystaniem energetyki jądrowej. Normy w zakresie bezpieczeństwa jądrowego, ochrony radiologicznej i ochrony fizycznej instalacji jądrowych. Międzynarodowa skala zdarzeń jądrowych (INES).

Zagrożenia podczas awarii jądrowych, typy awarii reaktorowych, zachowanie się obiektów w wyniku awarii. Przykłady awarii jądrowych: Windscale, Three Mile Island, Czarnobyl. Przebieg awarii i wpływ na otoczenie.

Broń jądrowa, wybuchy jądrowe w Hiroszynie i Nagasaki i ich skutki, skutki próbnego wybuchu jądrowego. Ograniczanie zbrojeń atomowych.

Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje: Po wysłuchaniu wykładu student zna zagrożenia związane ze stosowaniem technologii jądrowych, zna normy bezpieczeństwa jądrowego oraz zasady klasyfikacji zdarzeń jądrowych.

Energia i sposoby magazynowania energii (W30h)

Treści kształcenia: Konwencjonalne i alternatywne źródła energii, analiza ich wpływu na środowisko. Energetyka słoneczna (wysoko i niskotemperaturowa), fotowoltaika, energetyka geotermalna (w tym pompy ciepłe), energetyka związana z ruchem wód śródlądowych i oceanicznych, energetyka wiatrowa oraz szerokie sposoby wykorzystania biomasy. Historia badań i rozwoju elektrochemicznych źródeł prądu wraz z ich podziałem na ogniwa pierwotne, odwracalne (akumulatory) i paliwowe. Magazynowanie energii, chemiczne źródła prądu (baterie i akumulatory), perspektywy ich zastosowania np. w pojazdach o napędzie elektrycznym lub medycynie (rozruszniki serca). Typy „paliw” stosowanych w ogniwach paliwowych. Energetyka wodorowa. Wodór wydajny nośnik energii - technologie otrzymywania wodoru, sposoby bezpiecznego magazynowania oraz kierunki jego zastosowania w energetyce.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje:

Wiedza o zaletach i ograniczeniach pozyskiwania i magazynowania energii. Znajomość konstrukcji i zasad działania podstawowych akumulatorów i baterii. Umiejętność racjonalnego doboru sposobu pozyskiwania energii do zastosowania. Wiedza o zasobach nośników energii oraz aspektach środowiskowych pozyskiwania energii.

Radiochemia środowiska (W15h)

Treści kształcenia: Naturalne i sztuczne izotopy promieniotwórcze w środowisku. Specjacja radionuklidów w przyrodzie. Zawartość poszczególnych izotopów w próbce a zanieczyszczenie środowiska. Detekcja promieniowania alfa, beta oraz gamma. Procedury radiochemiczne wykorzystywane w oznaczeniu izotopów promieniotwórczych: ^3H , ^{14}C , ^{55}Fe , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{222}Rn , ^{210}Po , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje: Student powinien umieć scharakteryzować głównie radioizotopy wykorzystywane w badaniu środowiska a także opisać procedury służące do określenia ich zawartości w próbkach środowiskowych.

Reakcje wymiany izotopowej (W15h)

Treści kształcenia: W wykładzie przedstawione będą podstawy termodynamiki i kinetyki wymiany izotopowej w układach homogenicznych i heterogenicznych. Omówione zostaną procesy wymiany przebiegającej według mechanizmu asocjacyjnego, dysocjacyjnego i mechanizmu z przeniesieniem elektronu. Poczesne miejsce w wykładzie zajmie omówienie reakcji wymiany izotopowej wodoru. Wykład ilustrowany będzie licznymi przykładami ukazującymi możliwości wykorzystania wymiany izotopowej do badania budowy cząsteczek oraz ich struktury elektronowej. Omówione będą także możliwości zastosowania reakcji wymiany izotopowej do otrzymywania związków znakowanych oraz wzbogacania i rozdzielania izotopów.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje: Po zakończeniu nauki w ramach tego przedmiotu student powinien opisać termodynamikę i kinetykę reakcji wymiany izotopowej. Powinien znać podstawowe mechanizmy reakcji wymiany i umieć wykazać się umiejętnością wskazania możliwości wykorzystania reakcji wymiany izotopowej.

Systemy reaktorów jądrowych (W15h)

Treści kształcenia: Elementy i działanie elektrowni jądrowej. Systemy z reaktorami BWR i PWR. Otwarte i zamknięte układy chłodzenia. Systemy kontroli reaktora i systemy awaryjne. Mody sterowania reaktorem. Układ elementów paliwowych w rdzeniu. Wypalanie i wymiana paliwa. Paliwo UOX i MOX. Bezpieczeństwo reaktorów. Awarie i postępowanie w sytuacjach awaryjnych. Żywotność układów reaktorowych. Likwidacja elektrowni. Reaktory II, III i IV generacji. Systemy różnych producentów. Reaktory nieenergetyczne.

Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje: Student posiada gruntowną wiedzę na temat budowy i działania elektrowni jądrowej i innych systemów reaktorowych. Zna zagadnienia sterowania reaktorem, bezpieczeństwa jądrowego, likwidacji elektrowni itd. Jest zorientowany w różnych rozwiązaniach stosowanych na świecie i planowanych na przyszłość.

Techniki jądrowe w diagnostyce i terapii medycznej (W30h)

Treści kształcenia: Fizyka a medycyna. Detektory promieniowania jonizującego. Podstawy radiobiologii. Podstawy matematyczne obrazowania medycznego. Tomografia w diagnostyce medycznej. Tomografia rentgenowska (CT). Tomografia pojedynczych fotonów (SPECT). Tomografia pozytonowa (PET). Tomografia magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR). Radioizotopy dla PET i SPECT. Produkcja radioizotopów, akceleratory do produkcji izotopów dla medycyny, produkcja radiofarmaceutyków. Izotopy promieniotwórcze dla medycyny produkowane w reakcji rozszczepienia. Podstawy fizyczne radioterapii nowotworów. Podstawy dozymetrii promieniowania jonizującego. Sprzęt we współczesnej radioterapii: akcelerator liniowy, bomba kobaltowa, sterowane komputerowo urządzenia współczesnej radioterapii „GammaKnife” i „Cyberknife”, akceleratory ciężkich cząstek naładowanych, cyklotrony i synchrotrony. Metody radioterapii, planowanie radioterapii i ochrona radiologiczna. Radioterapia klasyczna. Radioterapia protonowa i ciężko jonowa. Zastosowanie „GammaKnife” i „CyberKnife”. Przegląd współczesnych ośrodków radioterapii.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje: Rozumienie zjawisk fizycznych związanych z zastosowaniem promieniowania jonizującego w diagnostyce i terapii medycznej. Poznanie standardowych technik używanych w diagnostyce obrazowej i najnowszych rozwiązań. Wiedza o stosowanych metodach radioterapii i technikach wprowadzanych do radioterapii. Wiedza o skuteczności metod diagnostycznych i terapeutycznych.

Techniki obrazowania molekularnego w badaniach przedklinicznych (W15h)

Treści kształcenia: Wprowadzenie do biologii molekularnej. Podstawy działania oraz zastosowanie w badaniach przedklinicznych: tomografii pozytonowej tomografii (PET), tomografii pojedynczych fotonów (SPECT), jądowego rezonansu magnetycznego (MRI), tomografii komputerowej (CT). Zalety łączenia badań różnymi technikami diagnostycznymi. Oprogramowanie wspomagające badania przedkliniczne. Materiały i izotopy stosowane w obrazowaniu molekularnym. Badania przedkliniczne z wykorzystaniem małych zwierząt. Rodzaje zwierząt stosowanych w badaniach przedklinicznych. Aspekty etyczne, prawne oraz procedury postępowania w pracy ze zwierzętami. Przygotowanie dokumentacji niezbędnej do prowadzenia badań z wykorzystaniem zwierząt. Organizacja pracy laboratorium obrazowania molekularnego.

Efekty kształcenia – umiejętności, kompetencje: Poznanie technik używanych w diagnozowaniu przedklinicznym, zasadach doboru techniki do badanej substancji. Wiedza o zasadach stosowania zwierząt w badaniach przedklinicznych oraz organizacji pracy w laboratorium obrazowania molekularnego. Umiejętność przygotowania dokumentacji do komisji etycznych wydających pozwolenia na prace z wykorzystaniem zwierząt laboratoryjnych.

D. Przedmioty dodatkowe

Przedmioty ogólnouniwersyteckie do wyboru z oferty Uniwersytetu Warszawskiego.