



INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
IM. HENRYKA NIEWODNICZAŃSKIEGO
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

KISID
KRAKOWSKA
INTERDYSCYPLINARNA
SZKOŁA DOKTORSKA

Zakres egzaminów / Scope of the examination:

Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk
The Henryk Niewodniczański Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences

Forma egzaminu kierunkowego: egzamin ustny / prezentacja Kandydatki / Kandydata*

Form of the examination: oral exam / Candidate's presentation

2 pytania z fizyki ogólnej i 2 pytania z zakresu tematyki badawczej realizowanej w Oddziale/Dziale, do którego aplikuje Kandydatka / Kandydat.

2 questions in general physics and 2 questions in the field of research carried out in the Department/Division to which the Candidate is applying.

Pytania z fizyki ogólnej / Questions from general physics

1. Wyjaśnij jaki układ odniesienia nazywamy inercjalnym, a jaki nieinercjalnym. Podaj przykłady takich układów. Wyjaśnij występowanie siły Coriolisa na powierzchni Ziemi i podaj skutki jej działania.
The notions and examples of inertial and non-inertial frames. Explain the Coriolis force, its occurrence, and effects on Earth's surface.
2. Podaj prawa rządzące sprężystymi i niesprężystymi zderzeniami w ramach mechaniki klasycznej. Wyjaśnij pojęcie parametru zderzenia oraz przekroju czynnego na zderzenie.
The laws governing elastic and inelastic collisions in the framework of classical mechanics; explain the notions of impact parameter and cross section.
3. Przedyskutuj równania ruchu mechaniki klasycznej w ujęciu Lagrange'a i Hamiltona.
Discuss equations of motion of classical mechanics in the approaches of Lagrange and Hamilton.

4. Omów równanie ruchu harmonicznego; przedyskutuj pojęcia amplitudy, okresu i częstotliwości drgań. Scharakteryzuj drgania wymuszone oscylatora harmonicznego.
Describe the equation of harmonic motion; discuss the notions of amplitude, period and frequency of vibrations. Explain the phenomenon of forced vibrations of a harmonic oscillator.
5. Omów pojęcia momentu pędu i momentu siły. Przedstaw zasadę zachowania krętu oraz przykłady jej obowiązywania w przyrodzie.
Describe the notions of angular momentum and torque; explain the angular momentum conservation and provide examples of its applications in nature.
6. Omów właściwości płynu idealnego, równanie jego ciągłości oraz prawo Bernoulliego. Porównaj właściwości płynu idealnego i nieidealnego.
Discuss the properties of an ideal fluid, continuity equation, and Bernoulli law. Compare properties of ideal and nonideal fluids.
7. Omów pierwszą zasadę termodynamiki oraz pojęcia ciepła, energii wewnętrznej i ciepła właściwego.
Describe the first law of thermodynamics and the concept of heat capacity, the notions of internal energy and specific heat capacity.
8. Omów drugą zasadę termodynamiki oraz przedyskutuj pojęcia entropii i nieodwracalności procesu.
Describe the second law of thermodynamics and discuss the notions of entropy and irreversibility of the process.
9. Porównaj własności gazu doskonałego i rzeczywistego. Omów równania opisujące stan tych gazów. Wyjaśnij pojęcie temperatury krytycznej.
Compare properties of ideal and real gas. Discuss equations describing states of ideal and real gas. Explain the notion of critical temperature.
10. Scharakteryzuj właściwości stanów skupienia materii. Omów pojęcie przejścia fazowego oraz jego rodzaje. Podaj i krótko scharakteryzuj przykłady znanych ci przejść fazowych.
Characterize properties of states of matter. Describe the notion of a phase transition and its kinds. Give and briefly describe examples of phase transitions.
11. Przedstaw zasadę działania silnika cieplnego. Wyjaśnij pojęcie sprawności silnika cieplnego. Podaj przykłady różnych cykli termodynamicznych, w oparciu o które pracują silniki cieplne.
Describe the notion of heat engine and its efficiency; give some examples of different thermodynamic cycles.

12. Omów prawa odbicia i załamania światła oraz pojęcie całkowitego wewnętrznego odbicia.
Discuss the laws of light's reflection and refraction, and the notion of a total internal refraction.
13. Omów zjawisko interferencji fal oraz zasadę superpozycji.
Describe the phenomenon of wave interference and the superposition principle.
14. Omów zjawisko dyfrakcji fal oraz pojęcie zdolności rozdzielczej.
Describe the phenomenon of wave diffraction and the notion of resolution.
15. Omów efekt Dopplera oraz przedstaw jego przejawy w akustyce, optyce i astrofizyce.
Describe Doppler effect and discuss its occurrence in acoustics, optics and astrophysics.
16. Omów zjawisko polaryzacji światła, sposoby jej uzyskiwania i pomiaru. Podaj przykłady wykorzystania polaryzacji światła w badaniach przyrody.
Describe the phenomenon of light polarization in particular how to obtain and measure the polarization. Give some examples how to exploit light polarization in natural science research.
17. Dokonaj charakterystyki pola elektrostatycznego oraz magnetycznego oraz podaj prawa obowiązujące dla tych pól. Wyjaśnij zasadę superpozycji natężeń pól.
Characterize electrostatic and magnetic fields together with the respective physics laws. Describe the superposition rule.
18. Podaj definicje oporu elektrycznego oraz prawo Ohma. Wyjaśnij od jakich wielkości fizycznych zależy opór przewodnika liniowego. Wyjaśnij pojęcia przewodności i oporu właściwego.
Give the definition of electrical resistance and Ohm's law. Describe the notions of conductivity and resistivity.
19. Omów zjawisko indukcji elektromagnetycznej i podaj przykłady jego zastosowania. Wyjaśnij pojęcia współczynnika samoindukcji i indukcji wzajemnej.
Describe the phenomenon of electromagnetic induction and give some examples of its applications. Explain the notion of self-inductance and mutual inductance.
20. Podaj prawo Biota-Savarta oraz opis pola magnetycznego pochodzącego od prądu płynącego w przewodniku liniowym i kołowym.
Describe the Biot-Savart's law and give the description of magnetic field due to the current in a linear and circular conductor.

21. Omów zjawisko rezonansu w obwodach drgających, zasadę powstawania fal elektromagnetycznych oraz wyjaśnij pojęcie prądu przesunięcia.
Describe the phenomenon of a resonance in a LC circuit, the principles of generation of electromagnetic waves, and explain the concept of displacement current.
22. Omów równania Maxwella oraz główne cechy fal elektromagnetycznych.
Maxwell's equations, electromagnetic waves.
23. Omów hipotezę atomową budowy materii. Na jej podstawie przedstaw jakościowe wytłumaczenie własności ciał stałych, cieczy i gazów.
Describe the hypothesis that matter is composed of atoms; based on it give a qualitative explanation of properties of solids, liquids and gases.
24. Przedstaw modele atomu według Thomsona, Rutherforda i Bohra.
Present the models of the atom according to Thomson, Rutherford, and Bohr.
25. Dokonaj charakterystyki metali, półprzewodników i izolatorów. Opisz mechanizmy przewodnictwa elektrycznego.
Characterize metals, semiconductors and insulators. Describe mechanisms of electric conductivity.
26. Przedstaw główne postulaty szczególnej teorii względności. Omów eksperyment Michelsona-Morleya oraz wynikające z niego wnioski fizyczne.
Describe main assumptions of the special theory of relativity and Michelson-Morley experiment.
27. Omów transformacje Galileusza i Lorentza. Podaj relatywistyczne prawo dodawania prędkości. Wyjaśnij pojęcie równoważności masy i energii.
Describe Galileo and Lorentz transformations; give the relativistic rules of summing up the velocities; explain the notion of equivalence between matter and energy.
28. Przedyskutuj relatywistyczne skrócenie długości oraz dylatacje czasu. Na czym polega paradoks bliźniąt?
Discuss the relativistic length contraction and time dilation. Describe the twins' paradox.
29. Przedyskutuj główne postulaty ogólnej teorii względności oraz najważniejsze testy doświadczalne tej teorii.
Discuss main assumptions of the general theory of relativity and its main experimental tests.

30. Omów równanie Schrödingera oraz przedyskutuj implikacje jego rozwiązania dla poziomów energetycznych atomu wodoru.
Describe Schrödinger equation and discuss its solutions for the energy levels in the hydrogen atom.
31. Przedstaw zasadę nieoznaczoności Heisenberga oraz pojęcie drgań zerowych układu kwantowo-mechanicznego.
Explain the Heisenberg uncertainty relations and the notion of zero-point oscillations in a quantum system.
32. Przedstaw podstawowe idee mechaniki kwantowej na przykładzie rozpraszania cząstek na dwóch szczelinach.
Discuss main ideas of quantum mechanics using the example of the double-slit experiment.
33. Omów zjawiska fotoelektryczne i Comptona oraz dokonaj charakterystyki promieniowania ciała doskonale czarnego.
Describe the photoelectric and Compton effects and characterize the spectrum of a perfect black body.
34. Scharakteryzuj zjawiska nadprzewodnictwa i nadciekłości. Podaj przykłady zachowań układów nadprzewodzących i nadciekłych.
Characterize phenomena of superconductivity and superfluidity. Give some examples of their properties.
35. Przedstaw główne założenia standardowej teorii Wielkiego Wybuchu wszechświata oraz najważniejsze argumenty obserwacyjne za jej słusznością.
Give basic assumptions of a standard Big Bang cosmology and main experimental arguments for its correctness.

W przygotowaniu do egzaminu użyteczne mogą się okazać, między innymi, następujące pozycje z literatury / *The following literature items may be useful in preparing for the exam:*

R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, *Feynmana wykłady z fizyki* (PWN) [*The Feynman Lectures on Physics*].

D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki* (PWN) [*Fundamentals of Physics* (Wiley)]

Pytania dla Kandydatek / Kandydatów do Oddziału Fizyki i Astrofizyki Cząstek (NO1) / Questions for Candidates for the Division of Particle and Astroparticle Physics (NO1)

1. Porównanie zderzeń w kolajderze (ang. *collider*) ze zderzeniami na stałej tarczy. Zderzacze liniowe i kołowe. Porównanie zderzaczy *ee* i *pp*.
Compare beam collisions on fixed target with those at colliders. Linear and circular accelerators. Compare ee vs pp colliders.
2. Omów budowę i działanie współczesnego zderzacza. Światłość zderzacza.
Describe construction and operation of modern collider. The notion of luminosity.
3. Oddziaływanie fotonów z materią. Kalorymetry elektromagnetyczne.
Interactions of photons with matter. Electromagnetic calorimeters.
4. Przekrój czynny; przestrzeń fazowa; szerokość rozpadu.
The notions of cross-section, phase space and decay width.
5. Oddziaływanie cząstek naładowanych z materią.
Interactions of charged particles with matter.
6. Detektory gazowe i krzemowe.
Gaseous and silicon detectors.
7. Sposoby identyfikacji cząstek.
Methods of particle identification.
8. Detekcja hadronów i dżetów. Kalorymetry hadronowe.
Detection of hadrons and jets. Hadronic calorimeters.
9. Model Standardowy: skład i podstawowe własności elementarnych fermionów i bozonów.
The Standard Model: particle composition and basic properties of elementary fermions and bosons.
10. Liczby kwantowe *C*, *P* i *T*.
Quantum numbers: C, P, and T.
11. Porównanie cech elektrodynamiki i chromodynamiki kwantowej.
Compare key features of quantum electrodynamics and quantum chromodynamics.
12. Podstawy teorii elektroslabej. Główne testy doświadczalne tej teorii.
Basic features of electroweak theory. Main experimental tests of electroweak theory.

13. Mechanizm Higgsa. Odkrycie bozonu Higgsa.
The Higgs mechanism. Discovery of the Higgs boson.
14. Liczba lekkich neutrin; ewidencja eksperymentalna.
Number of light neutrinos; experimental evidence.
15. Kolor: dowody doświadczalne.
Colour quantum number: experimental evidence.
16. Budowa partonowa nukleonu. Znaczenie funkcji rozkładu partonów (*Parton Distribution Function*) nukleonu.
Parton structure of the nucleon. Meaning of the Parton Distribution Function of the nucleon.
17. Macierz CKM; masy i mieszanie kwarków.
CKM matrix, quark masses and mixing.
18. Podstawowe własności plazmy kwarkowo-gluonowej.
Basic features of quark-gluon-plasma.
19. Oscylacje neutrin; badania neutrin atmosferycznych i słonecznych.
Neutrino oscillations; studies of atmospheric and solar neutrinos.
20. Fale grawitacyjne – omów pojęcie i opisz mechanizm ich odkrycia.
Gravitational waves – discuss the concept and describe the mechanism of their discovery.
21. Problemy Modelu Standardowego. Przykład teorii poza Modelem Standardowym
Shortcomings of the Standard Model. Example of theory beyond the Standard Model.
22. Podstawowe cechy promieniowania kosmicznego. Podstawowe własności wielkich pęków atmosferycznych.
Basic features of cosmic rays. Basic properties of extensive air showers.
23. Bezpośrednie i pośrednie techniki detekcji astrofizycznych cząstek naładowanych, promieniowania gamma i neutrin.
Direct and indirect detection techniques of astrophysical charged particles, gamma rays, and neutrinos.
24. Astrofizyczne źródła cząstek i promieni gamma o wysokich energiach. Podstawowe procesy prowadzące do emisji wysokoenergetycznych cząstek.
Astrophysical sources of high-energy gamma rays and particles. Basic processes leading to high energy particle emission.

25. Neutrino astrofizyczne bardzo wysokich energii – dlaczego powinny istnieć i jak zostały odkryte, jak można je obserwować?

Very high energy astrophysical neutrinos – why they should exist and how they were discovered? How can we observe them?

W przygotowaniu do egzaminu użyteczne mogą się okazać, między innymi, następujące pozycje z literatury / *The following literature items may be useful in preparing for the exam:*

M. Thompson *Modern Particle Physics (Współczesna Fizyka Cząstek)*.

D. H. Perkins *Introduction to High Energy Physics (Wstęp do fizyki wysokich energii)*.

T. Gaisser, R. Engel, E. Resconi *Cosmic Rays and Particle Physics*.

A. F. Żarnowski *Astrofizyka cząstek* (wykład monograficzny, in Polish):

(dostępny na stronie: <https://www.fuw.edu.pl/~zarnowski/APP/>)

Pytania dla Kandydatek / Kandydatów do Oddziału Fizyki Jądrowej i Oddziaływań Silnych (NO2) / Questions for Candidates for the Division of Nuclear Physics and Strong Interactions (NO2)

1. Podstawowe własności jąder atomowych (rozmiary, rozkłady gęstości, deformacje kształtu, czasy rozpadu stanów jądrowych, momenty elektromagnetyczne, spin, parzystość, izospin).

Basic properties of atomic nuclei (sizes, density distributions, shape deformations, nuclear decay lifetimes, electromagnetic moments, spin, parity, isospin).

2. Metody wyznaczania podstawowych własności jąder atomowych (rozpraszanie elektronów, spektrometria masowa, spektroskopia gamma).

Methods for determining the basic properties of atomic nuclei (electron scattering, mass spectrometry, gamma spectroscopy).

3. Energie wiązania i masy jąder atomowych. Liczby magiczne. Energie separacji protonów i neutronów. Tablica nuklidów (ścieżka stabilności, izotopy, izobary i izotony, linie odrywania).

Binding energies and masses of atomic nuclei. Magic numbers. Proton and neutron separation energies. Table of nuclides (stability path, isotopes, isobars and isotones, drip lines).

4. Radioaktywność jąder atomowych (rozpady alfa, beta, gamma, protonowe, rozszczepienie).

Radioactivity of atomic nuclei (alpha, beta, gamma, proton decays, fission).

5. Własności sił jądrowych. Oddziaływanie nukleon-nukleon.
Properties of nuclear forces. Nucleon-nucleon interaction.
6. Modele jądra atomowego: model kropli cieczy, model gazu Fermiego, model pola średniego (potencjał Saxona-Woodsa), model powłokowy.
Models of atomic nucleus: liquid drop model, Fermi gas model, mean field model (Saxon-Woods potential), shell model.
7. Wzbudzenia jednocząstkowe (model powłokowy) i kolektywne (rotacja, wibracja, gigantyczne rezonanse).
Single-particle (shell model) and collective (rotation, vibration, giant resonances) excitations.
8. Całkowity i różniczkowy przekrój czynny. Definicja i przykłady.
Total and differential cross-section. Definition and examples.
9. Kinematyka reakcji jądrowych i zasady zachowania. Ciepło reakcji, energia wzbudzenia, kręt, efekty relatywistyczne.
Kinematics of nuclear reactions and conservation laws. Q-value, excitation energy, angular momentum, relativistic effects.
10. Modele reakcji: reakcje wprost, reakcje przez jądro złożone (fuzja, ewaporacja, rozszczepienie), rozpraszanie elastyczne, nieelastyczne, reakcje głęboko-nieelastyczne, rozpraszanie kulombowskie.
Reaction models: direct reactions, compound nucleus reactions (fusion, evaporation, fission), elastic and inelastic scattering, deep-inelastic reactions, Coulomb scattering.
11. Nukleosynteza pierwotna i nukleosynteza w gwiazdach.
Primary nucleosynthesis and nucleosynthesis in stars.
12. Akceleratory i metody przyspieszania cząstek i jąder atomowych. Systemy akceleracyjne: generator van de Graaffa, cyklotron, synchrotron. Wytwarzanie wiązek jonów radioaktywnych. System akceleracyjny LHC.
Accelerators and methods of accelerating particles and atomic nuclei. Acceleration systems: van de Graaff generator, cyclotron, synchrotron. Production of radioactive ion beams. LHC acceleration system.
13. Oddziaływanie promieniowania gamma, neutronów i cząstek naładowanych z materią.
Interaction of gamma rays, neutrons and charged particles with matter.
14. Detektory promieniowania jądrowego i metody detekcji (detektory scyntylacyjne, półprzewodnikowe, drutowe, gazowe w tym komora projekcji czasowej).

Nuclear radiation detectors and detection methods (scintillation, semiconductor, multiwire chamber, gas detectors including the Time Projection Chamber).

15. Geometria zderzeń jądrowych przy wysokich energiach (centralność i ultraperyferyczność).

Geometry of high-energy nuclear collisions (centrality and ultraperipherality).

16. Zmienne kinematyczne w fizyce wysokich energii (energia w środku masy, *rapidity* i *pseudorapidity*, pęd poprzeczny, masa poprzeczna, masa niezmiennicza).

Kinematic variables in high energy physics (energy in the center of mass, rapidity and pseudorapidity, transverse momentum, transverse mass, invariant mass).

17. Model Standardowy (podstawowe składniki materii i oddziaływania fundamentalne)

Standard Model (basic components of matter and fundamental interactions).

18. Podstawy chromodynamiki kwantowej; asymptotyczna swoboda i uwięzienie kwarków.

Basics of quantum chromodynamics; asymptotic freedom and the confinement of quarks.

19. Plazma kwarkowo-gluonowa.

The quark-gluon plasma.

20. Hadrony: budowa i rodzaje.

Hadrons: structure and types.

21. Układy detekcyjne fizyki jądrowej np.: ALICE na LHC, AGATA i PARIS.

Detection systems of nuclear physics, i.e., ALICE at LHC, AGATA and PARIS.

22. Podstawy formalizmu diagramów Feynmana.

Basics of Feynman diagrams formalism.

23. Symetrie Modelu Standardowego. Symetria C, P, T; składanie symetrii.

Symmetries of the Standard Model. Symmetry C, P, T; folding symmetry.

24. Zastosowania fizyki jądrowej w medycynie np.: diagnostyka i terapia nowotworów.

Medical applications of nuclear physics, i.e., cancer diagnosis and therapy.

25. Zastosowanie fizyki jądrowej w przemyśle np.: reaktor jądrowy, elektrownie jądrowe i termojądrowe i inne).

Industrial application of nuclear physics, i.e., the nuclear reactor, nuclear and fusion power plants, and others.

W przygotowaniu do egzaminu użyteczne mogą się okazać, między innymi, następujące pozycje z literatury / *The following literature items may be useful in preparing for the exam:*

C. A. Bertulani, *Nuclear Physics in a Nutshell*.

K. S. Krane, *Introductory Nuclear Physics*.
A. Strzałkowski, *Wstęp do fizyki jądra atomowego* [in Polish].
T. Mayer-Kuckuck, *Introduction to Nuclear Physics*.
J. Bartke, *Introduction to Relativistic Heavy Ion Physics*.
<https://www.agata.org/> ; <https://alice-collaboration.web.cern.ch/>
<https://home.cern/science/experiments/alice>

Pytania dla Kandydatek / Kandydatów do Oddziału Fizyki Materii Skondensowanej (NO3) / Questions for Candidates for the Division of Condensed Matter Physics (NO3)

1. Sieć krystaliczna, układy krystalograficzne, grupy przestrzenne.
Crystal lattice, crystallographic systems, space groups.
2. Dynamika sieci układów przestrzennie periodycznych: strefy Brillouina, twierdzenie Blocha, relacje dyspersji fononów.
Dynamics of spatially periodic systems: the Brillouin zones, the Bloch theorem, phonon dispersion relations.
3. Makroskopowe własności ciał stałych: podatność elektryczna i magnetyczna, sprężystość materiałów.
Macroscopic properties of solids: electric and magnetic susceptibilities, elasticity of materials.
4. Struktura elektronowa ciał stałych: izolatory, półprzewodniki, półmetale, metale.
Electronic structure of solids: insulators, semiconductors, semi-metals, metals.
5. Pośrednie stany skupienia i materia miękka: rodzaje mezofaz, klasyfikacja faz ciekłokrystalicznych i ich właściwości. Doświadczalne metody identyfikacji mezofaz.
Mesophases and soft matter: types of mesophases, classification of liquid crystal phases, and their properties. Experimental methods of mesophase identification.
6. Przejścia fazowe: klasyfikacja Ehrenfesta, przykłady przemian fazowych I i II rodzaju. Pojęcie parametru porządku (uporządkowania). Teoria Landaua przejść fazowych drugiego rodzaju.
Phase transitions: the Ehrenfest classification, examples of phase transitions of I and II order. The order parameter definition. Landau theory of the second order phase transitions.
7. Termodynamiczne własności materiałów: pojemność cieplna, model Debye'a i model Einsteina. Metody kalorymetryczne.

Thermodynamic properties of materials: heat capacity, Debye and Einstein models. Calorimetric methods.

8. Materiały magnetyczne i ich zastosowanie (stopy magnetyczne, magnetyki molekularne, ferrofluidy).
Magnetic materials and their applications (magnetic alloys, molecular magnets, and ferrofluids).
9. Wyjaśnij pojęcia: zjawisko magnetokaloryczne, zjawisko magnetosprężyste, magnetostrykcja i magnetoopór.
Explain terms: magnetocaloric effect, magnetoelastic effect, magnetostriction and magnetoresistance.
10. Fazy częściowo nieuporządkowane: fazy plastyczno-krystaliczne, konformacyjnie nieuporządkowane i przechłodzone oraz stany szkliste. Wpływ nieporządku molekularnego na własności materii miękkiej.
Partially disordered phases: plastic-crystal, conformationally disordered, and supercooled phases, and glassy states. Influence of molecular disorder on properties of soft matter materials.
11. Zjawisko uporządkowania bliskiego i dalekiego zasięgu w materii miękkiej. Przykłady struktur uporządkowanych dalekozasięgowo w jednym, w dwóch lub w trzech wymiarach.
The phenomenon of short- and long-range order in soft matter. Examples of long-range ordered structures in one, two or three dimensions.
12. Nadprzewodnictwo – podstawowy mechanizm (teoria BCS), własności i zastosowania.
Superconductivity – basic mechanism (BCS theory), properties and applications.
13. Magnetoptyczny efekt Kerra: definicja i zastosowanie.
The magneto-optic Kerr effect: definition and application.
14. Rodzaje i własności materiałów ferroicznych, domeny ferroiczne i multiferroiki.
The types and properties of ferroic materials, ferroic domains and multiferroics.
15. Przedstaw zasadę działania lasera. Omów podstawowe typy laserów oraz podaj przykłady ich zastosowania w badaniach fizycznych.
Explain principles of laser action; describe basic types of lasers and give examples of their applications in physical research.
16. Własności materiałów niskowymiarowych (cienkie warstwy, nanocząstki, kropki, druty i studnie kwantowe).

Properties of low-dimensional materials (thin layers, nanoparticles, dots, wires and quantum wells).

17. Półprzewodniki – definicja, rodzaje, struktura pasmowa, domieszki, przykłady prostych elementów półprzewodnikowych.
Semiconductors – definition, type, band structure, example of simple semiconductor devices.
18. Mikroskopia w świetle spolaryzowanym jako jedna z metod identyfikacji mezofaz. Tekstury ciekłokrystaliczne.
Polarized light microscopy as one of the methods of mesophase identification. Liquid crystal textures.
19. Dyfrakcyjne metody w badaniach struktury ciał stałych. Prawo Bragga. Zastosowanie różnych rodzajów promieniowania.
Diffraction methods in the studies of structure of solid-state materials. Bragg's law. The use of different types of radiation.
20. Spektroskopia w podczerwieni jako metoda badania własności materii skondensowanej.
Infrared spectroscopy as a method to study properties of condensed matter.
21. Szerokopasmowa spektroskopia dielektryczna – opis metody i zastosowanie. Procesy relaksacyjne obserwowane w skali temperatury, częstotliwości i ciśnienia. Model Debye'a.
Broadband dielectric spectroscopy – description and applications. Relaxation processes observed at temperature, frequency, and pressure scales. Debye model.
22. Skaningowy mikroskop elektronowy i transmisyjny mikroskop elektronowy.
Scanning electron microscope and transmission electron microscope.
23. Magnetyczne techniki pomiarowe (statyczne, dynamiczne, magnetometr SQUID).
Magnetic measuring techniques (static, dynamic, SQUID magnetometer).
24. Spektroskopia anihilacji pozytonów jako metoda badań materii skondensowanej.
Positron annihilation spectroscopy as a method of condensed matter research.
25. Zjawisko Mössbauera (ogólnie) i przykłady jego zastosowania do badania ciał stałych.
The Mössbauer effect (in general) and examples of its use to study solids.

W przygotowaniu do egzaminu użyteczne mogą się okazać, między innymi, następujące pozycje z literatury / *The following literature items may be useful in preparing for the exam:*

A. K. Wróblewski, J. A. Zakrzewski *Wstęp do fizyki* (PWN).

Ch. Kittel *Introduction to Solid State Physics* (John Wiley & Sons, Inc.) [*Wstęp do fizyki ciała stałego* (PWN)].

A. Oleś *Metody eksperymentalne fizyki ciała stałego* (Wyd. Naukowo-Techniczne).

Soft materials. Structure and Dynamics, ed. J. R. Dutcher, A. G. Marangoni (Marcel Dekker, USA).

Liquid crystals, ed. H. Baumgärtel, E. U. Franck, W. Grünbein (Steinkopff, Springer, USA).

Pytania dla Kandydatek / Kandydatów do Oddziału Fizyki Teoretycznej (NO4) /

Questions for Candidates for Division of Theoretical Physics (NO4)

1. Opis stanu układu w mechanice kwantowej.
States in QM: description and properties.
2. Równanie Schrödingera zależne i niezależne od czasu.
Time-dependent and time-independent Schrödinger equation.
3. Reprezentacje macierzowe wielkości kwantowo-mechanicznych.
Matrix representations of quantum-mechanical quantities.
4. Ruch cząstki w nieskończenie głębokiej studni potencjału.
Particle motion in infinitely deep potential well.
5. Stany czyste i mieszane.
Pure and mixed states.
6. Kwantowo-mechaniczny opis atomu wodoru.
Hydrogen atom in quantum mechanics.
7. Teoria rozprożeń w mechanice kwantowej.
Quantum-mechanical scattering theory.
8. Interpretacja probabilistyczna mechaniki kwantowej.
Probabilistic interpretation of quantum mechanics.
9. Zasada nieoznaczoności Heisenberga dla niekomutujących obserwabli.
The Heisenberg uncertainty principle for noncommuting observables.
10. Opis oscylatora harmonicznego w reprezentacji liczby obsadzeni.
Description of the harmonic oscillator in the number state representation.
11. Pomiar w mechanice kwantowej i niekomutujące obserwabli.
Measurement in quantum mechanics and noncommuting observables.

12. Wyłumacz różnicę pomiędzy obrazem Schrödingera, Heisenberga i oddziaływania w mechanice kwantowej.
Explain the difference between the Schrödinger, Heisenberg and interaction pictures in quantum mechanics.
13. Symetrie w mechanice kwantowej i zasady zachowania.
Symmetries in quantum mechanics and conservation laws.
14. Twierdzenie Ehrenfesta.
Ehrenfest's theorem.
15. Kanoniczne kwantowanie.
Canonical quantization.
16. Ruch cząstki kwantowej w polu bariery potencjału, efekt tunelowy.
The motion of a quantum particle in the potential barrier field, tunnelling effect.
17. Rachunek zaburzeń niezależnych od czasu.
Time independent perturbation calculus.
18. Cząstki nierozróżnialne: bozony i fermiony, symetryczne i antysymetryczne funkcje falowe.
Bosons and fermions, symmetric and antisymmetric wave functions.
19. Zasada superpozycji, pakiety falowe.
Superposition principle, wave packets.
20. Spin.
Spin.
21. Niezmienniczość względem transformacji cechowania.
The gauge invariance
22. Moment pędu w mechanice kwantowej.
Angular momentum in quantum mechanics.
23. Interferencja kwantowa. Dualizm korpuskularno-falowy.
Quantum interference. Particle and wave behaviour.
24. Zakaz Pauliego i jego zastosowania.
The Pauli exclusion principle and its application.
25. Opis cząstki naładowanej w polu elektromagnetycznym. Sprzężenie minimalne.
Charged particle in the electromagnetic field. Minimal coupling.

W przygotowaniu do egzaminu użyteczne mogą się okazać, między innymi, następujące pozycje z literatury / *The following references may be useful in preparing for the exam:*

R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, vol. III. (Addison-Wesley).

J. J. Sakurai, J. Napolitano, *Modern Quantum Mechanics* (Cambridge University Press).

L. E. Ballentine, *Quantum Mechanics: A Modern Development* (World Scientific).

Pytania dla Kandydatek / Kandydatów do Oddziału Badań Interdyscyplinarnych (NO5) / Questions for Candidates for the Division of Interdisciplinary Research (NO5)

1. Wyjaśnij pojęcie Transformaty Fouriera i omów jej zastosowanie w spektroskopii magnetycznego rezonansu jądowego (NMR), obrazowaniu magnetyczno-rezonansowym (MRI), spektroskopii w podczerwieni (FTIR) lub innej metodzie pomiarowej.

Explain the term Fourier Transform and describe its application in nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy, magnetic resonance imaging (MRI), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), or other research methods.

2. Wyjaśnij pojęcie transformaty Laplace'a i omów jej zastosowanie w analizie wyników pomiarów relaksacyjnych lub dyfuzyjnych.

Explain the term Laplace Transform and describe its application for analysis of the relaxation or diffusion data.

3. Przedstaw sposób wytwarzania, charakterystykę i właściwości promieniowania rentgenowskiego oraz charakterystycznego promieniowania X. Podaj obowiązujące reguły wyboru dla przejść dipolowych i kwadrupolowych.

Present the production method and properties of X-rays and characteristic X-rays. Give the applicable selection rules for dipole and quadrupole transitions.

4. Dokonaj charakterystyki promieniowania jonizującego, przedstaw dwa przykłady wytwarzania tego promieniowania, wyjaśnij pojęcie średniego czasu życia dla izotopów promieniotwórczych oraz podaj jego związek z czasem połowicznego rozpadu promieniotwórczego.

Describe properties of ionizing radiation. Give two examples how to produce such radiation. Explain what the mean lifetime of a radioactive isotope is and how it is related to its half-life.

5. Omów skutki narażenia człowieka na promieniowanie jonizujące. Dokonaj charakterystyki wielkości fizycznych związanych z ochroną radiologiczną i podaj przykłady wykorzystania promieniowania jonizującego w diagnostyce i terapii.
Discuss medical effects and risks of exposure to ionizing radiation. Characterize physical quantities relevant for radiation protection. Give some examples of ionizing radiation application for both diagnostic and therapeutic purposes.
6. Omów ruch cząstki naładowanej w polu elektrycznym i magnetycznym. Wyjaśnij pojęcie częstości cyklotronowej. Omów zasadę działania cyklotronu, generatora typu Van de Graaffa oraz separatora masowego.
Describe the motion of a charged particle in the presence of electric and magnetic field. Explain the cyclotron frequency term. Explain the operation principle of the following devices: 1) cyclotron, 2) Van de Graaff generator, and 3) mass separator.
7. Podaj przykłady trzech dowolnych typów detektorów promieniowania jonizującego i omów zasadę ich działania.
Give three examples of ionizing radiation detectors and explain how they work.
8. Wyjaśnij zjawisko jądrowego rezonansu magnetycznego i omów zastosowanie tego zjawiska w medycynie.
Explain the nuclear magnetic resonance phenomenon and describe its application in medicine.
9. Dokonaj charakterystyki promieniowania synchrotronowego, omów mechanizm jego wytwarzania, zalety i wady z punktu widzenia eksperymentu w zastosowaniach biomedycznych. Wyjaśnij różnicę pomiędzy undulatorem a wigglerem.
Describe properties of synchrotron radiation and mechanisms of its creation. Discuss the advantages and disadvantages of this method in biomedical experiments. Explain the difference between an undulator and a wiggler.
10. Omów mechanizm oddziaływania neutronów z materią, wyjaśnij pojęcia neutronów termicznych, dyfrakcji i polaryzacji neutronów.
Describe the interaction mechanism of neutrons with matter. Explain the following terms: 1) thermal neutrons, 2) neutron diffraction, and 3) neutron polarization.
11. Przedstaw istotę zjawiska Mössbauera i wyjaśnij jego znaczenie dla badań strukturalnych.
Explain Mössbauer effect and its importance for structural research.

12. Omów zjawiska towarzyszące oddziaływaniom promieniowania elektromagnetycznego z materią. Podaj zależności przekroju czynnego na te zjawiska od energii promieniowania.
Describe physical phenomena related to electromagnetic radiation interaction with matter. Describe the cross section – energy dependence for these phenomena.
13. Zaproponuj materiały jakie można wykorzystać do budowy osłon radiologicznych przed promieniowaniem różnego typu. Uzasadnij swoje propozycje.
Propose some materials for radiological shielding for different types of ionizing radiation. Explain your choice of materials.
14. Omów podstawy fizyczne spektroskopii w podczerwieni oraz podaj przykłady zastosowań tej metody.
Discuss the physical basis of infrared spectroscopy and give examples of application of this method.
15. Omów podstawy fizyczne spektroskopii Ramana oraz podaj przykłady zastosowań tej metody.
Discuss the physical basis of Raman spectroscopy and give examples of applications of this method.
16. Omów podstawowe pojęcia charakteryzujące właściwości mechaniczno-reologiczne materiałów oraz wyjaśnij w jaki sposób mikroskopia sił atomowych jest wykorzystywana do badania właściwości mechanicznych i reologicznych miękkich materiałów, w tym żywych komórek.
Discuss the basic concepts characterizing the mechanical and rheological properties of materials, and explain how atomic force microscopy is used to study the mechanical and rheological properties of soft materials, including living cells.
17. Omów podstawy fizyczne, zasadę działania tomografu i podaj przykłady wykorzystania tomografii komputerowej.
Explain physical basics, the principle of tomograph operation, and present examples of applications of computed tomography.
18. Wskaż co najmniej trzy metody obrazowania organizmów żywych, omów ich podstawy fizyczne i porównaj je ze sobą wskazując zalety i ograniczenia.
Describe at least three different methods used for in vivo imaging and compare them, indicating advantages and limitations.
19. Wymień podstawowe elementy tomografu rezonansu magnetycznego (MRI) i omów ich rolę w procesie uzyskania obrazu.

List the basic components of a magnetic resonance imaging (MRI) scanner and discuss their role in the imaging process.

20. Wyjaśnij zasadę działania lasera na swobodnych elektronach (FEL) i podaj przykład przynajmniej jednego jego zastosowania, niemożliwego (lub bardzo trudnego) w innych metodach badawczych.

Explain the principle of operation of the free electron laser (FEL) and give at least one example of its application, not feasible (or very difficult) in other research techniques.

21. Omów podstawy fizyczne metody spektroskopii absorpcyjnej (XAS) i emisyjnej (XES) promieniowania X. Wyjaśnij, jakie podstawowe własności atomów (i ew. ich otoczenia) można badać używając tych technik?

Describe physical basics of X-rays absorption (XAS) and emission (XES) spectroscopies. Explain what basic properties of atoms (or possibly their surroundings) may be studied using these techniques?

22. Opisz podstawowe mechanizmy i różnice w oddziaływaniu z materią dla wiązki jonów, elektronów i promieni X penetrujących materię.

Describe the basic mechanisms and differences in the interaction with matter for a beam of ions, electrons, and X rays penetrating matter.

23. Omów odkształcalność materiałów, podaj podstawowe elementy teorii odkształcalności.
- Discuss the deformability of materials, and provide the basic elements of the theory of deformability.*

24. Omów oddziaływania międzycząsteczkowe (elektrostatyczne jon-jon, van der Waals'a, wodorowe, siły steryczne),

Discuss intermolecular interactions (electrostatic ion-ion, van der Waals, hydrogen, steric forces).

25. Wyjaśnij zasadę działania nanospektroskopii AFM-IR opartej na efekcie fototermicznym oraz podaj przykłady jej zastosowań.

Explain the principle of operation of AFM-IR nanospectroscopy based on the photothermal effect and give examples of its applications.

W przygotowaniu do egzaminu użyteczne mogą się okazać, między innymi, następujące pozycje z literatury / *The following literature items may be useful in preparing for the exam:*

Po polsku:

Fizyczne metody badań w biologii, medycynie i ochronie środowiska, pod. red. A. Z. Hrynkiwicz i E. Rokity (PWN).

P. W. Atkins, *Chemia Fizyczna* (PWN).

Z. Kęcki, *Podstawy spektroskopii molekularnej* (PWN).

L. Stryer, *Biochemia* (PWN).

Biospektroskopia, tomy 1-5, pod red. J. Twardowskiego (PWN).

Spektroskopia oscylacyjna. Od teorii do praktyki, K. Małek (red.) (PWN).

Promieniowanie synchrotronowe w fizyce i chemii ciała stałego – wybrane zagadnienia (Wyd. Naukowe UAM).

J. Hennel, *Wstęp do teorii magnetycznego rezonansu jądrowego*.

J. Tritt-Goc, *Wprowadzenie do tomografii magnetyczno-rezonansowej*.

In English:

K. E. van Holde, W. C. Johnson, P. Shing Ho, *Principles of physical biochemistry* (Upper Saddle River, NJ, Pearson Education International).

Ch. R. Cantor, P. R. Schimmel, *Biophysical Chemistry, Part I: The Conformation of Biological Macromolecules; Part II: Techniques for the Study of Biological Structure and Function; Part III: The Behavior of Biological Macromolecules* (New York: W. H. Freeman and Company).

D. T. Haynie, *Biological Thermodynamics* (Cambridge University Press).

Handbook of Vibrational Spectroscopy, editors: J. M. Chalmers, P. R. Griffiths (John Wiley & Sons, Ltd).

Infrared and Raman Spectroscopic Imaging, editors: R. Salzer, H.W. Siesler (Wiley).

Synchrotron radiation in solid state physics and chemistry – selected issues, (Wydawnictwo Naukowe UAM).

P. A. Rinck, *Magnetic Resonance in Medicine. A critical introduction* (available at: <http://www.magnetic-resonance.org/contents.html>).

A.D. Elster, *Questions & Answers in MRI* (available at: <http://mri-q.com/index.html>).

R. H Hashemi, W. G Bradley, C.J. Lisanti, *MRI The Basics*.

Pytania dla Kandydatek / Kandydatów do Oddziału Zastosowań Fizyki (NO6) /
Questions for Candidates for Division of Applications of Physics (NO6)

1. Wyjaśnij pojęcie plazmy oraz podaj przykłady współcześnie prowadzonych badań nad tym stanem materii.
Explain what is plasma and give some examples of modern studies involving this state of matter.
2. Omów mechanizm oddziaływania neutronów z materią, wyjaśnij pojęcia neutronów termicznych, dyfrakcji i polaryzacji neutronów. Scharakteryzuj metody detekcji neutronów w zależności od ich energii.

Describe the interaction mechanism of neutrons with matter. Explain the following terms: thermal neutrons, neutron diffraction and neutron polarization. Characterize various neutron detection methods, according to their energy.

3. Omów zasadę działania reaktora jądrowego. Wyjaśnij pojęcia reakcji łańcuchowej, moderatora neutronów, uranu wzbogaconego. Podaj dwa przykłady różnych typów reaktorów i wyjaśnij różnice w ich budowie.

Describe the working principle of a nuclear reactor. Explain the following terms: chain reaction, neutron moderator and enriched uranium. Name two types of nuclear reactors and explain the differences between them.

4. Na czym polegają metody Monte Carlo i w jaki sposób są one stosowane w symulacji procesów transportu promieniowania w ośrodkach?

What are Monte Carlo methods and how are they used to simulate radiation transport in media?

5. Omów próby praktycznej realizacji kontrolowanej reakcji syntezy termojądrowej. Omów różnice pomiędzy magnetycznym i inercyjnym utrzymaniem plazmy. Przedstaw zasadę działania wybranego urządzenia fuzyjnego.

Discuss practical attempts to achieve the controlled thermonuclear fusion reaction. Explain differences between magnetic and inertial plasma confinement. Give an example of fusion device.

6. Na przykładzie protonów, omów oddziaływanie wysokoenergetycznych cząstek naładowanych z ośrodkiem materialnym. Omów rozkłady głębokościowe dawki dla różnych rodzajów promieniowania.

Taking protons as an example, discuss interaction of high energy charged particles with matter. Discuss depth dose distributions for different kinds of ionizing radiation.

7. Zdefiniuj pojęcia dawki oraz fluencji dla protonów. Podaj związek pomiędzy tymi wielkościami. Podaj definicję zasięgu wiązki jonów, omów metody pomiaru lub oszacowania zasięgu wiązki protonów.

Explain the concept of dose and fluence for protons. Discuss the relationship between those quantities. Give the definition of ion beam range and discuss the method of measurement or evaluation of proton beam range.

8. Wyjaśnij pojęcie względnej skuteczności biologicznej (WSB) oraz podaj definicję WSB. Przedstaw jakościowo zmienność WSB dla protonów i cięższych jonów wraz z energią.

Present qualitatively the concept of Relative Biological Effectiveness (RBE), give the definition of RBE. Discuss RBE variability for protons and heavier ions as a function of energy.

9. Wymień i scharakteryzuj zakresy pracy gazowego detektora promieniowania. Przedstaw budowę i zasadę działania komory jonizacyjnej oraz różnice w działaniu: komory jonizacyjnej, licznika proporcjonalnego oraz licznika Geigera-Müllera.
Name and characterize the operating regions of the gaseous ionization detector. Discuss the construction and explain the working principle of the ionization chamber. Explain the differences in working principles of: ionization chamber, proportional counter and Geiger-Müller counter.
10. Wyjaśnij na czym polegają różnice w budowie i zasadzie działania aktywnego i pasywnego detektora promieniowania jonizującego. Przedstaw po jednym przykładzie metody fizycznej wykorzystującej i) detektor aktywny ii) detektor pasywny.
Explain the differences in the construction and working principles of active and passive detectors of ionizing radiation. Present a selected physical method that uses i) a passive detector and another physics method that involves ii) an active detector.
11. Wykaż, że zarówno podczas syntezy jak i rozpadu jąder promieniotwórczych wydzielana jest energia. Wyjaśnij pojęcie ciepła reakcji i niedoboru masy.
Show that in both cases of fusion and fission reactions vast amount of energy is released. Define the reaction energy “Q-value” and explain the mass defect (or mass deficit) term.
12. Dokonaj charakterystyki promieniowania jonizującego, przedstaw dwa przykłady wytwarzania tego promieniowania, wyjaśnij pojęcie średniego czasu życia dla izotopów promieniotwórczych oraz podaj jego związek z czasem połowicznego rozpadu promieniotwórczego.
Describe the properties of ionizing radiation. Give two examples of how to produce such radiation. Explain what is the mean lifetime of a radioactive isotope and how it is related to its half-life.
13. Wyjaśnij pojęcie abundancji. Omów metody datowania izotopowego
Explain the abundance term. Describe methods of radioisotope dating.
14. Jakie zjawiska fizyczne towarzyszą przejściu promieniowania gamma oraz X przez materię? Zaproponuj materiały jakie można wykorzystać do budowy osłon radiologicznych przed tym typem promieniowania. Uzasadnij swoje propozycje.
What physical phenomena accompany the passage of gamma and X radiation through matter? Propose some materials for radiological shielding for this kind of ionizing radiation. Justify your choice of materials.
15. Omów współczesne metody spektrometrii jądrowej alfa, beta i gamma z uwzględnieniem aspektu przygotowania (preparatyki) próbek.

Characterize modern methods of nuclear spectrometry (alpha, gamma and beta) including aspects of sample preparation.

16. Omów budowę i zasadę działania kwadрупolowego analizatora mas.
Discuss the construction and principle of operation of the quadrupole mass analyzer.
17. Scharakteryzuj szeregi promieniotwórcze występujące w przyrodzie. Wymień rodzaje i opisz warunki istnienia równowagi promieniotwórczej pomiędzy izotopami.
Characterize the radioactive series found in nature. List the types and describe the conditions for the existence of a radioactive equilibrium between isotopes.
18. Podaj prawo Geigera-Nuttalla oraz interpretację zaproponowaną przez G. Gamow. Wyjaśnij, jak ta reguła manifestuje się w widmie promieniowania alfa.
Give the Geiger-Nuttall law and the interpretation proposed by G. Gamow. Explain how this rule manifests itself in the alpha spectrum.
19. Wyjaśnij pochodzenie pierwiastków promieniotwórczych naturalnych i sztucznych w środowisku.
Explain the origin of natural and man-made radioactive elements found in the environment.
20. Omów budowę i zasadę działania skanera Pozytonowej Tomografii Emisyjnej (PET) oraz jego podstawowe parametry. Porównaj skaner PET z rentgenowskim tomografem komputerowym (CT).
Explain the construction and working principles of Positron Emission Tomography (PET) scanner. Compare PET scanner with the X-ray Computed Tomography (CT) scanner.
21. Omów podstawy fizyczne działania: i) cyklotronu, ii) synchrociklotronu oraz iii) synchrotronu. Porównaj metody uwzględnienia efektów relatywistycznych podczas przyspieszania cząstek w tych akceleratorach.
Discuss the physical principles of i) cyclotron, ii) synchrocyclotron iii) synchrotron operation. Compare the methods of including of the relativistic effects observed during particle acceleration in these facilities.
22. Omów zjawisko termoluminescencji oraz jego wykorzystanie w dozymetrii promieniowania jonizującego i datowaniu.
Discuss the phenomenon of thermoluminescence and its use in dosimetry of ionizing radiation and dating.
23. Objaśnij podstawy fizyczne działania typowych pasywnych dawkomierzy osobistych stosowanych w ochronie radiologicznej.

Explain the physical principles of the typical passive personal dosimeters used in radiation protection.

24. Omów metodę Czochralskiego wzrostu kryształów. Wymień inne metody wzrostu kryształów z fazy roztopionej.

Discuss the Czochralski method of crystal growth. List other methods of crystal growth from the melt.

25. Objaśnij zależność pomiędzy pochłoniętą dawką promieniowania a skutkami oddziaływania promieniowania na organizm ludzki.

Explain the dependence between the absorbed dose of radiation and the effects of radiation on the human body.

W przygotowaniu do egzaminu użyteczne mogą się okazać, między innymi, następujące pozycje z literatury / *The following literature items may be useful in preparing for the exam:*

F. H. Attix *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*.

Francis F. Chen, *Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion*.

Pytania dla Kandydatek / Kandydatów do Centrum Cyklotronowego Bronowice (CCB) / Questions for Candidates for Cyclotron Center Bronowice (CCB)

1. Na przykładzie protonów, omów oddziaływanie wysokoenergetycznych cząstek naładowanych z ośrodkiem materialnym. Omów rozkłady głębokościowe dawki dla różnych rodzajów promieniowania.

Taking protons as an example, discuss interaction of high energy charged particles with matter. Discuss depth dose distributions for different kinds of ionizing radiation.

2. Zdefiniuj pojęcia dawki oraz fluencji dla protonów. Podaj związek między tymi wielkościami. Podaj definicję zasięgu wiązki jonów, omów metody pomiaru lub oszacowania zasięgu wiązki protonów.

Explain the concept of dose and fluence for protons. Discuss the relationship between those quantities. Give the definition of ion beam range and discuss the method of measurement or evaluation of proton beam range.

3. Wyjaśnij pojęcie względnej skuteczności biologicznej (WSB) oraz podaj definicję WSB. Przedstaw jakościowo zmienność WSB dla protonów i cięższych jonów wraz z energią.

Present qualitatively the concept of Relative Biological Effectiveness (RBE), give the definition of RBE. Discuss RBE variability for protons and heavier ions as a function of energy.

4. Wyjaśnij pojęcie liniowego przekazu energii (ang. *linear energy transfer*, LET) i jego wykorzystania w planowaniu radioterapii z wykorzystaniem protonów.
Explain the concept of linear energy transfer (LET) and its application for treatment planning with protons and carbon ions.
5. Wyjaśnij typy uszkodzeń DNA (SSB, DSB), sposób ich powstawania w wyniku pośrednich i bezpośrednich oddziaływań promieniowania, oraz metody pomiaru uszkodzeń DNA.
Explain DNA damage types (SSB, DSB), how they are induced by direct and indirect effects of ionizing radiation, and DNA damage assays applied in radiobiology.
6. Wymień i scharakteryzuj zakresy pracy gazowego detektora promieniowania. Przedstaw budowę i zasadę działania komory jonizacyjnej oraz różnice w działaniu: komory jonizacyjnej, licznika proporcjonalnego oraz licznika Geigera-Müllera.
Name and characterize the operating regions of the gaseous ionization detector. Discuss the construction and explain the working principle of the ionization chamber. Explain the differences in working principles of: ionization chamber, proportional counter and Geiger-Müller counter.
7. Wyjaśnij na czym polegają różnice w budowie i zasadzie działania aktywnego i pasywnego detektora promieniowania jonizującego. Przedstaw po jednym przykładzie metody fizycznej wykorzystującej i) detektor aktywny ii) detektor pasywny.
Explain the differences in the construction and working principles of active and passive detectors of ionizing radiation. Present a selected physical method that uses i) a passive detector and another physics method that involves ii) an active detector.
8. Dokonaj charakterystyki promieniowania jonizującego, przedstaw dwa przykłady wytwarzania tego promieniowania, wyjaśnij pojęcie średniego czasu życia dla izotopów promieniotwórczych oraz podaj jego związek z czasem połowicznego rozpadu promieniotwórczego.
Describe the properties of ionizing radiation. Give two examples of how to produce such radiation. Explain what is the mean lifetime of a radioactive isotope and how it is related to its half-life.
9. Zaproponuj materiały jakie można wykorzystać do budowy osłon radiologicznych przed promieniowaniem różnego typu. Uzasadnij swoje propozycje.
Propose some materials for radiological shielding for different types of ionizing radiation. Justify your choice of materials.
10. Podaj przykłady trzech dowolnych typów detektorów promieniowania jonizującego i omów zasadę ich działania.

Give three examples of ionizing radiation detectors and explain how they work.

11. Wyjaśnij pochodzenie pierwiastków promieniotwórczych naturalnych i sztucznych w środowisku.

Explain the origin of natural and man-made radioactive elements found in the environment.

12. Omów budowę i zasadę działania skanera Pozytonowej Tomografii Emisyjnej (PET) oraz jego podstawowe parametry. Porównaj skaner PET z rentgenowskim tomografem komputerowym (CT).

Explain the construction and working principles of Positron Emission Tomography (PET) scanner. Compare PET scanner with the X-ray Computed Tomography (CT) scanner.

13. Omów podstawy fizyczne działania: i) cyklotronu, ii) synchrociklotronu oraz iii) synchrotronu. Porównaj metody uwzględnienia efektów relatywistycznych podczas przyspieszania cząstek w tych akceleratorach.

Discuss the physical principles of i) cyclotron, ii) synchrocyclotron iii) synchrotron operation. Compare the methods of including of the relativistic effects observed during particle acceleration in these facilities.

14. Omów zjawisko termoluminescencji oraz jego wykorzystanie w dozymetrii promieniowania jonizującego i datowaniu.

Discuss the phenomenon of thermoluminescence and its use in dosimetry of ionizing radiation and dating.

15. Objasnij podstawy fizyczne działania typowych pasywnych dawkomierzy osobistych stosowanych w ochronie radiologicznej.

Explain the physical principles of the typical passive personal dosimeters used in radiation protection.

16. Objasnij zależność pomiędzy pochłoniętą dawką promieniowania a skutkami oddziaływania promieniowania na organizm ludzki.

Explain the dependence between the absorbed dose of radiation and the effects of radiation on the human body.

17. Wyjaśnij cel radioterapii oraz pojęcia prawdopodobieństwo kontroli nowotworu (ang. *tumor control probability*, TCP) i prawdopodobieństwo uszkodzenia tkanek zdrowych (ang. *normal tissue complication probability*, NTCP). Jak wykorzystanie radioterapii protonowej wpływa na NTCP?

Explain the goal of radiotherapy and the concepts of tumor control probability (TCP) and normal tissue complication probability (NTCP). How does the use of proton radiotherapy affect NTCP?

18. Omów i porównaj metody modulacji intensywności w radioterapii fotonowej i protonowej. Objasnij metody pasywne (ang. *passive scattering*) i aktywne (ang. *pencil beam scanning*) dostarczenia wiązki protonowej. Jakie są zalety skanowania ołówkową wiązką protonową?

Discuss and compare intensity modulation methods in photon and proton radiotherapy. Explain the passive scattering and pencil beam scanning methods of proton beam delivery. What are the advantages of pencil beam scanning (PBS) in proton therapy?

19. Wyjaśnij istotę stosowania symulacji z wykorzystaniem metod Monte Carlo do zastosowań medycznych, w szczególności do obrazowania i radioterapii, oraz przedstaw zalety stosowania obliczeń Monte Carlo w planowaniu leczenia z wykorzystaniem radioterapii protonowej.

Explain the purpose of using Monte Carlo simulations in medical applications – especially in imaging and radiotherapy – and present the advantages of Monte Carlo calculations in treatment planning using proton radiotherapy.

20. Przedstaw rolę metod obrazowania z wykorzystaniem tomografii komputerowej, pozytonowej tomografii emisyjnej i rezonansu magnetycznego w planowaniu leczenia (wyznaczenie obszarów nowotworu i organów krytycznych oraz obliczeniu rozkładu dawki) w radioterapii i radioterapii protonowej.

Present the role of imaging methods using computed tomography (CT), positron emission tomography (PET), and magnetic resonance imaging (MRI) in treatment planning (delineation of tumour volumes and organs at risk, and calculation of the dose distribution) in radiotherapy and proton radiotherapy.

21. Omów na czym polega problem przy naświetleniu skanującą wiązką protonową poruszających się organów (niepewność geometryczna, zasięgu, efekt *interplay*) i jakie są metody mitygacji tych efektów.

Discuss the problems associated with irradiating moving organs using a scanning proton beam – including geometric uncertainty, range uncertainty, and the interplay effect – and describe methods to mitigate these effects.

22. Wyjaśnij co to jest efekt FLASH wysokiej intensywności wiązki.

Explain what the FLASH effect high dose-rate beam irradiation.

23. Wyjaśnij pojęcie współczynnika wzmożenia tlenowego (ang. *oxygen enhancement ratio*).

Explain the concept of the oxygen enhancement ratio (OER).

24. Wyjaśnij 5R radioterapii (naprawa, redystrybucja, repopulacja, reoksygenacja, promieniowrażliwość).

Explain the 5 R's of radiotherapy (repair, redistribution, repopulation, reoxygenation, radiosensitivity).

25. Wyjaśnij podstawowe modele przeżywalności komórek (np. model liniowy i liniowo kwadratowy).

Explain the basic cell survival models (e.g., the linear model and the linear-quadratic model).

W przygotowaniu do egzaminu użyteczne mogą się okazać, między innymi, następujące pozycje z literatury / *The following literature items may be useful in preparing for the exam:*

F. H. Attix *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*.

H. Paganetti, *Proton Therapy Physics*.

Pytania dla Kandydatek / Kandydatów do Działu Budowy Aparatury i Infrastruktury Naukowej (DAI) / Questions for Candidates for Division of Scientific Equipment and Infrastructure Construction (DAI)

1. Radioaktywność jąder atomowych (rozpady alfa, beta, gamma, protonowe, rozszczepienie).

Radioactivity of atomic nuclei (alpha, beta, gamma, proton decays, fission).

2. Wykaż, że zarówno podczas syntezy jak i rozpadu jąder promieniotwórczych może być wydzielana energia. Wyjaśnij pojęcie ciepła reakcji i niedoboru masy.

Show that in both cases of fusion and fission reactions vast amount of energy can be released. Define the reaction energy "Q-value" and explain the mass defect (or mass deficit) term.

3. Fuzja jądrowa. Nukleosynteza pierwotna i nukleosynteza w gwiazdach.

Nuclear fusion. Primary nucleosynthesis and nucleosynthesis in stars.

4. Omów próby praktycznej realizacji kontrolowanej reakcji syntezy termojądrowej. Omów różnice pomiędzy magnetycznym i inercyjnym utrzymaniem plazmy. Przedstaw zasadę działania wybranego urządzenia fuzyjnego.

Discuss practical attempts to achieve the controlled thermonuclear fusion reaction. Explain differences between magnetic and inertial plasma confinement. Give an example of fusion device.

5. Omów ruch cząstki naładowanej w polu elektrycznym i magnetycznym. Wyjaśnij pojęcie częstości cyklotronowej. Omów zasadę magnetycznego utrzymywania plazmy w tokamaku oraz działania następujących urządzeń: cyklotron, synchrotron, separator masy.
Describe the motion of a charged particle in the presence of electric and magnetic field. Explain cyclotron frequency term. Explain the operation principle of the magnetic plasma confinement in a tokamak and of the following devices: cyclotron, synchrotron, mass separator.
6. Akceleratory i metody przyspieszania cząstek i jąder atomowych. Systemy akceleracyjne: generator van de Graaffa, cyklotron, synchrotron. Wytwarzanie wiązek jonów radioaktywnych. System akceleracyjny LHC.
Accelerators and methods of accelerating particles and atomic nuclei. Acceleration systems: van de Graaff generator, cyclotron, synchrotron. Production of radioactive ion beams. LHC acceleration system.
7. Zastosowanie fizyki jądrowej w przemyśle np.: reaktor jądrowy, elektrownie jądrowe i termojądrowe, i inne.
Industrial application of nuclear physics, i.e., the nuclear reactor, nuclear and fusion power plants, and others.
8. Nadprzewodnictwo: podstawowe mechanizmy i zastosowania.
Superconductivity: basic mechanisms and applications.
9. Powierzchnia krytyczna nadprzewodnika? Charakterystyczne cechy i przykłady nadprzewodników pierwszego i drugiego rodzaju. Najważniejsze grupy materiałów nadprzewodnikowych nisko- i wysokotemperaturowych.
Critical surface of a superconductor. Characteristic features and examples of Type-I and Type-II superconductors. The most important groups of low-temperature and high-temperature superconducting materials.
10. Stabilność termiczna nadprzewodników. Omów zagadnienie podziału prądu i utraty stanu nadprzewodzenia w kablu nadprzewodnikowym.
Thermal stability of superconductors. Discuss current sharing and quench in superconducting cables.
11. Omów zagadnienie przewodzenia ciepła (Prawo Fouriera. Równanie przewodnictwa cieplnego. Rodzaje warunków granicznych dla równania przewodnictwa cieplnego. Dyfuzyjność cieplna (definicja, interpretacja fizyczna, typowe wartości tego parametru dla dobrych i słabych przewodników ciepła)).

Discuss the problem of heat conduction (Fourier's Law. The heat conduction equation. Types of boundary conditions for the heat conduction equation. Thermal diffusivity (definition, interpretation, typical values for good and poor heat conductors)).

12. Omów zagadnienie przewodzenie i przejmowanie ciepła w stanie ustalonym przez jedno/wielowarstwową ściankę płaską lub cylindryczną. Opór cieplny dla każdego z powyższych przypadków.

Discuss the problem of steady-state heat conduction and heat transfer through a single/multi-layer flat wall and single/multi-layer cylindrical wall. Thermal resistance for the above cases.

13. Omów zagadnienie konwekcji swobodnej i wymuszonej. Przejmowanie ciepła (równanie Newtona, współczynnik przejmowania/wnikania ciepła – od czego zależy, typowe wartości dla konwekcji swobodnej i wymuszonej).

Discuss the problem of free (natural) and forced convection. Heat transfer between a flowing fluid and a solid surface (Newton's law, heat transfer coefficient – what it depends on, typical values for free and forced convection).

14. Omów teorię podobieństwa: prawa podobieństwa, interpretacja i znaczenie liczb podobieństwa w opisie przepływów i wymianie ciepła, typowe zastosowania.

Discuss similarity theory: similarity laws, interpretation and significance of similarity numbers (dimensionless numbers) in the description of flows and heat transfer, typical applications.

15. Omów zagadnienie przepływu laminarnego i turbulentnego. Omów podstawowe modele turbulencji (RANS) używane w programach do modelowania CFD, jak np. ANSYS Fluent.

Discuss the problem of laminar and turbulent flow. Discuss the basic turbulence models (RANS) used in CFD modeling programs, such as ANSYS Fluent.

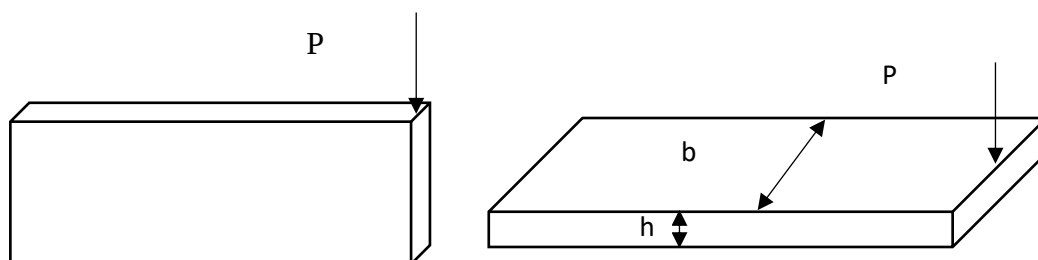
16. Omów odkształcalność sprężystą materiałów, podaj podstawowe elementy teorii sprężystości.

Discuss the deformability of materials, and provide the basic elements of the theory of elasticity.

17. Wyjaśnij, jak obliczamy odkształcenia termiczne w mechanice ciała stałego oraz określ różnice pomiędzy natychmiastowym a siecznym współczynnikiem rozszerzalności ciepła.

Explain how thermal strains are calculated in solid mechanics and determine the differences between the instantaneous and secant coefficient of thermal expansion.

18. Podaj rozwiązanie analityczne linii ugięcia belki zginanej o długości L i wymiarach przekroju $b \times h$ obciążonej na końcu siłą prostopadłą do osi o wartości P i utwierdzonej na drugim końcu (zob. rysunek poniżej). Oblicz ugięcie końca belki (pod wpływem siły). Porównaj wartości ugięć przy obu sposobach ustawienia przekroju zakładając $b = 4 \cdot h$.
Give the analytical solution of the deflection line of a beam subjected to bending, having length L , cross-section dimensions $b \times h$, loaded on its end by a force P perpendicular to the axis and fixed on the other end (see, figure below). Calculate the deflection of the end of the beam (under the force). Compare the deflections for the both ways of orienting the cross-section assuming $b = 4 \cdot h$.



19. Wyjaśnij co to są analizy sprzężone, podać przykłady, opisać zagadnienie termomechaniczne, elektromagnetyczno-mechaniczne. Jakimi narzędziami można posłużyć się w celu analizy tego rodzaju zagadnień?
Multiphysics modeling – provide examples, and describe the thermo-mechanical and electromagnetic-mechanical problems. What tools can be used to analyze these types of problems?
20. Wyjaśnij zagadnienia: interpolacja, aproksymacja, ekstrapolacja. Omów metodę interpolacji wielomianowej i interpolacji za pomocą funkcji sklepanych.
Explain the concepts of: interpolation, approximation, and extrapolation. Discuss the polynomial interpolation method and spline interpolation (interpolation using spline functions).
21. Omów metody numeryczne rozwiązywania układów równań liniowych, omów szczegółowo wybraną metodę np. metoda eliminacji Gaussa, rozkład LU, rozkład QR.
Discuss numerical methods for solving systems of linear equations, discuss in detail the selected method, e.g., Gaussian elimination method, LU decomposition or QR decomposition.
22. Omów metody numeryczne rozwiązywania równań nieliniowych. Omów szczegółowo wybraną metodę iteracyjną, np. metoda bisekcji, reguła-falsi (fałszywej liniowości), metoda siecznych, metoda Newtona – Raphsona (stycznych).

Discuss numerical methods for solving nonlinear equations. Discuss in detail the selected method, e.g., iterative methods: bisection method, regula falsi (false position) method, secant method or Newton–Raphson method (tangent method).

23. Omów metody całkowania numerycznego. Omów szczegółowo wybraną metodę, np. złożone kwadratury Newtona – Cotesa, ekstrapolacja Richardsona, metoda Romberga.

Discuss numerical integration. Discuss in detail the selected method, e.g., composite Newton–Cotes quadratures, Richardson extrapolation, Romberg integration (Romberg's method).

24. Wyjaśnij różnicę pomiędzy dyskretyzacją równań różniczkowych metodą *explicit* i *implicit*. Omów wady i zalety każdego z tych podejść i podaj przykłady schematów ich zastosowania.

Explain the difference between explicit and implicit discretization of differential equations. Discuss the advantages and disadvantages of each approach and provide examples of their application schemes.

25. Omów cele i zakres zastosowania metody elementów skończonych (MES)

Discuss the goals and scope of application of the Finite Element Method (FEM).

W przygotowaniu do egzaminu użyteczne mogą się okazać, między innymi, następujące pozycje z literatury / *The following literature items may be useful in preparing for the exam:*

C. A. Bertulani, *Nuclear Physics in a Nutshell*.

K. S. Krane, *Introductory Nuclear Physics*.

A. Strzałkowski, *Wstęp do fizyki jądra atomowego* [in Polish].

A. S. Lavine, F. P. Incropera, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*.

C. S. Chapra, *Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineers and Scientists*.

B. Edward, *Engineers Guide to MATLAB with Applications from mechanical aerospace, electrical and civil, and biological systems engineering*.

C. B. Moler, *Numerical computing with MATLAB*.

R.G. Budynas, J.K. Nisbett, *Shigley's mechanical engineering design*.

Mechanical APDL Users Guide.

Mechanical APDL Theory guide.

Ansys Parametric Design Language Guide.

Ansys Fluent User's guide.

Ansys Fluent Theory guide.